



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE ANGICOS
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

FRANCISCO EUZILMAR TORRES DE FARIAS

**UTILIZAÇÃO DO BAMBU COMO MATERIAL ESTRUTURAL – ESTUDO DE
CASO DA TRELIÇA DO CENTRO DE CONVIVÊNCIA DO CAMPUS
UFERSA/ANGICOS**

ANGICOS – RN

2021

FRANCISCO EUZILMAR TORRES DE FARIAS

**UTILIZAÇÃO DO BAMBU COMO MATERIAL ESTRUTURAL – ESTUDO DE
CASO DA TRELIÇA DO CENTRO DE CONVIVÊNCIA DO CAMPUS
UFERSA/ANGICOS**

Trabalho Final de Graduação apresentado a
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof(a). Dra. Marcilene Vieira Da
Nóbrega

ANGICOS – RN

2021

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

F224u Farias, Francisco Euzilmar Torres de .
UTILIZAÇÃO DO BAMBU COMO MATERIAL ESTRUTURAL ?
ESTUDO DE CASO DA TRELIÇA DO CENTRO DE CONVIVÊNCIA
DO CAMPUS UFRSA/ANGICOS / Francisco
Euzilmar Torres de Farias. - 2021.
51 f. : il.

Orientador: Marcilene Vieira da Nóbrega.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de , 2021.

1. Bambu. 2. Análise Numérica. 3. Análise
Estrutural. I. Nóbrega, Marcilene Vieira da ,
orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Biblioteca Campus Angicos
Bibliotecário: Helder Romero Maia
Duarte CRB: 15/673

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFRSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

FRANCISCO EUZILMAR TORRES DE FARIAS

**UTILIZAÇÃO DO BAMBU COMO MATERIAL ESTRUTURAL – ESTUDO DE
CASO DA TRELIÇA DO CENTRO DE CONVIVÊNCIA DO CAMPUS
UFERSA/ANGICOS**

Trabalho Final de Graduação apresentado
a Universidade Federal Rural do Semi-
Árido como requisito para obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Civil.

Defendida em: 16 / 11 / 2021.

BANCA EXAMINADORA

**Marcilene Vieira
da Nóbrega**

Assinado de forma digital por
Marcilene Vieira da Nóbrega
Dados: 2021.11.19 13:22:06
+01'00'

Marcilene Vieira da Nóbrega, Prof(a). Dra. (UFERSA)
Presidente

**Núbia Alves de
Souza Nogueira**

Assinado digitalmente por Núbia Alves de Souza
Nogueira
Dados: 2021.11.19 13:22:06
+01'00'

Núbia Alves de Souza Nogueira, Prof(a). Dra. (UFERSA)
Membro Examinador

Janielly Kaline de O. Ferreira do Fê
Janielly Kaline de Oliveira Ferreira da Fê, Mestranda na Área de Engenharia de
Materiais/UFERSA.
Membro Examinador

Dedico este trabalho aos meus pais, ao meu filho e esposa pelo incentivo e apoio, por sempre ter me encorajado na caminhada acadêmica, e que nunca mediram esforços para que eu pudesse chegar até aqui.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por toda força concedida a mim para enfrentar as dificuldades e os obstáculos dia após dia, por me fazer acreditar que tudo é possível para aquele que crer, pois sem ele eu não conseguiria alcançar tamanha vitória para minha vida.

Aos meus pais, Edneide Torres de Farias e Euzilmar Benicio Batista de Farias, ao meu filho, João Bernardo, a minha esposa, Joana D'arc, as minhas irmãs, Neymara Torres e Neirismar Torres e aos meus sobrinhos, Paulo Gabriel, Tarso e Maria Cecilia que me apoiaram desde o início, mesmo com tantas dificuldades, mas sempre querendo o melhor para mim. Serei eternamente grato por tudo que vocês sempre fizeram, por estarem presentes em todos os momentos, inclusive nos mais difíceis em que mesmo distantes me deram amparo e carinho.

A minha madrinha, Maria de Fátima Paz, por sempre acreditar em mim, por sempre ter me apoiado nos momentos mais difíceis e mesmo distante sempre me incentivando a alcançar meus objetivos. Serei eternamente grato.

A meu sogro Cesar de Lima, a minha sogra Jadete Rodrigues por todo apoio, serei eternamente grato.

Aos meus cunhados, Wagner Oliveira, Allison Penha e Cesar Guilherme pelo apoio e força. Muito obrigado.

Aos amigos que ganhei através da universidade, no qual compartilhamos dos momentos de estudos e/ou de descontração, sendo os responsáveis pelos meus melhores momentos vividos no decorrer da graduação, Ana Carolina, Alderi Leocadio, Érica Vanessa, Erika Oliveira, Kaio Henrique, Matheus Davi, Joerdson Tiago, Ronaldo, Paulo Rodolpho e Mylliane obrigado a todos.

Aos meus amigos, Geovania Clemente, Gilbismark Fernandes e Wellitania Rodrigues.

Em especial a minha orientadora, Prof^a. Dra. Marcilene Vieira da Nóbrega, um espelho de profissionalismo, por toda compreensão e paciência comigo, pela atenção e disponibilidade no decorrer da pesquisa e elaboração do projeto.

A banca examinadora desse trabalho, Prof(a). Dra Núbia Alves de Souza Nogueira, Eng.(a) Civil Janielly Kaline de Oliveira Ferreira da Fé, por aceitar o convite e disponibilizando do seu tempo para contribuir com esse trabalho.

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes”.

Marthin Luther King.

RESUMO

Durante a vida útil das estruturas os engenheiros projetistas utiliza-se de ferramentas que viabilizem analisar e entender certos comportamentos que podem ocorrer em seus elementos, desta forma, à análise estrutural deve-se ocorrer para determinar o comportamento da estrutura quando a mesma está recebendo aplicações de diferentes tipos de carregamentos, sendo assim determinados os efeitos das solicitações previamente consideradas e calculadas, estimando como as ações vão se distribuir nos elementos estruturais e com isso obtendo-se os esforços internos. Na construção civil são utilizados diversos tipos de componentes construtivos, e a cada dia novos elementos são inseridos nas obras. O bambu é utilizado em diversos sistemas construtivos, especificamente em coberturas. Entre as vantagens de se utilizar o bambu, destaca-se sua economia e durabilidade, além da sua leveza e resistência, o material é bastante eficiente na redução dos impactos ambientais. Diante disso, este trabalho buscou conhecimentos sobre tal material, constituindo uma revisão de literatura, com o objetivo de realizar um estudo analítico e numérico do comportamento, com relação à distribuição de cargas na estrutura treliçada do Centro de convivência da Universidade Federal Rural do Semi-Árido/ Campus Angicos, aferindo a substituição do material original (aço), pelo Bambu, através do Software SAP2000. Foram calculados analiticamente os esforços na treliça pelo software Ftool, logo em seguida foi realizada uma análise numérica na treliça com o material original (aço) e o bambu no Software SAP2000. Logo após verificou-se a eficiência da substituição do material da treliça de aço pelo bambu, solicitando-se ao programa SAP2000 realizar o dimensionamento das barras da treliça e verificando-se a capacidade do material resistir as forças solicitantes. Após todo desenvolvimento das análises, verificou-se que a substituição do material da treliça original (aço) pelo Bambu é viável, entretanto a verificação da seção transversal deve ser realizada juntamente com o seu dimensionamento.

Palavras-chave: Bambu. Análise Numérica. Análise Estrutural.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Propriedades mecânicas levantadas por Janssen (1981) apud Soares (2013).....	24
Tabela 2: Resistência mecânica de algumas espécies de bambu.....	25
Tabela 3: Resistência à tração e compressão, módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson das partes basal, centro e topo, com e sem nó, do bambu <i>Guadua angustifolia</i>	26
Tabela 4: Esforços normais nas barras da treliça obtidos analiticamente e numericamente - aço.....	40
Tabela 5: Esforços normais nas barras da treliça obtidos analiticamente e numericamente - aço.....	41

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Exemplo de uma malha de elementos finitos.....	17
Figura 02: Tipos de elementos finitos.....	18
Figura03: Treliça de bambu para sustentação do telhado/ Ponte treliçada em bambu.....	21
Figura 04: Estruturas e paredes de bambu.....	22
Figura 05: Pavilhão de bambu.....	23
Figura 06: Treliça do centro de convivência UFERSA/Angicos.....	27
Figura 07: Detalhe da seção transversal dos perfis metálicos da treliça.....	28
Figura 08: Estrutura remodelada.....	29
Figura 09: Desenho confeccionado no AutoCAD.....	30
Figura 10: Importação da estrutura.....	31
Figura 11: Informação do plano e unidades.....	32
Figura 12: Seleção do layer.....	32
Figura 13: Plano xz.....	33
Figura 14: Criação das barras no SAP2000.....	33
Figura 15: Adicionar material.....	34
Figura 16: Adicionar propriedades da seção transversal.....	34
Figura 17: Criação de cargas.....	35
Figura 18: Criação das combinações de ações.....	35
Figura 19: Rotulando as barras da estrutura.....	37
Figura 20: Seleção dos apoios.....	37
Figura 21: Atribuição do perfil as barras.....	37
Figura 22: Inserir as forças atuante no modelo.....	38
Figura 23: Processamento da estrutura.....	38
Figura 24: Posição das barras na estrutura.....	39
Figura 25: Gráfico dos esforços normais utilizando o aço, via SAP200.....	44
Figura 26: Gráfico dos esforços normais utilizando o bambu, via SAP200.....	44
Figura 27: Deformada da estrutura utilizando o aço como material da treliça.....	45
Figura 28: Deformada da estrutura utilizando o bambu como material da treliça.....	45
Figura 29: Dimensionamento da treliça em bambu utilizando o diâmetro de 79,56.....	46
Figura 30: Dimensionamento da treliça em bambu utilizando o diâmetro de 101,86 mm.....	47
Figura 31: Verificação da capacidade de suporte dos pilares.....	48

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Comparação entre tensões dos banzos superiores.....	42
Gráfico 2: Comparação entre tensões dos banzos inferiores.....	42
Gráfico 3: Comparação entre tensões das diagonais.....	43
Gráfico 4: Comparação entre tensões das montantes.....	43

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Análise da treliça em bambu.....	47
---	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	OBJETIVOS.....	14
1.1.1	Objetivo geral.....	14
1.1.2	Objetivos específicos	14
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
2.1	ANÁLISE ESTRUTURAL.....	15
2.1.1	Distribuição de cargas em estruturas	15
2.1.2	Distribuição de cargas em treliças.....	16
2.1.3	Análise numérica em estruturas.....	16
2.1.3.1	Análise numérica via software.....	18
2.2	ESTRUTURAS TRELIÇADAS	19
2.3	O USO DE BAMBU EM ESTRUTURAS.....	21
2.3.1	Propriedades mecânicas do bambu.....	23
3	MATERIAIS E MÉTODOS	27
3.1	ESTRUTURA PESQUISADA	27
3.2	MATERIAIS UTILIZADOS	27
3.2.1	Propriedades mecânicas dos materiais utilizados.....	28
3.2.1.1	Propriedades mecânicas do aço da treliça	28
3.2.1.2	Propriedades mecânicas do Bambu utilizado.....	28
3.3	Protótipo adaptado da treliça.....	29
3.4	PROCEDIMENTO ANALÍTICO DE CÁLCULO DA TRELIÇA.....	29
3.3	DESENVOLVIMENTO DO MODELO NUMÉRICO.....	30
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	39
4.1	Apresentação dos resultados dos esforços normais obtidos analiticamente e numericamente na treliça.	39
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	49
	REFERÊNCIAS	50

1 INTRODUÇÃO

A construção civil atual passa por momentos de transições e a cada dia que passa as técnicas construtivas e as recuperações de estruturas são cada vez mais necessárias. A cada momento surgem novos elementos construtivos para suprir as necessidades das obras e dos respectivos profissionais responsáveis. A sensação de segurança e a durabilidade da estrutura são fatores determinantes na escolha do material a ser usado (MARÇAL 2008).

Diversos são os materiais que podem compor uma estrutura. Tem-se o concreto armado, madeira, aço e materiais alternativos. Dentre esses materiais não convencionais pode-se destacar o Bambu. De acordo com Silva (2014), na América Latina o bambu é uma grande fonte de riqueza, viabilizando a produção de diferentes objetos de utilidade. Tem sido utilizado em construções de habitações e como em sistemas estruturais leves e resistentes. Ao longo de 200 milhões de anos, as estruturas de bambu passaram por processos adaptativos, sujeitos aos agentes naturais como vento, insetos, fungos, chuvas ácidas, dentre outras.

O bambu é bastante utilizado em diversos sistemas construtivos. Especificamente em coberturas, utiliza-se em peças cilíndricas (barras), seja empregada nas tesouras, nas estruturas espaciais, ou como terças e caibros. Para grandes vãos, existe a alternativa de utilizar soluções em treliças planas ou espaciais (MORÉ 2003).

A utilização do bambu como material estrutural vem crescendo a cada dia e promove a possibilidade de desenvolver estruturas de uma forma mais sustentável, dessa forma, garantindo a economia de matéria prima e de energia.

De acordo com Moré (2003), a treliça é uma das mais importantes formas estruturais da engenharia civil, devido a possibilidade de construir pontes e coberturas residenciais. Outro benefício dos sistemas treliçados é a capacidade de suportar grandes cargas e um vão considerável, sem o comprometimento da estrutura.

Segundo Marçal (2018), a palavra estrutura tem diversos conceitos, à mesma não se aplica apenas às edificações. Ela se faz presente em tudo ao nosso redor, formando um sistema composto de elementos combinados para executar uma determinada função. Em relação as edificações, a estrutura é um conjunto de elementos combinados que se inter-relacionam como fundações, lajes, vigas e pilares, essas combinações geram uma determinada função que é gerar um espaço para um grupo de pessoas praticar uma determinada atividade.

Analisar e projetar estruturas requer dos profissionais envolvidos conhecimento das etapas que envolvem esse processo (etapa analítica, experimental e numérica). E quando se

trata de aplicação de novos materiais em estruturas, como por exemplo o Bambu, esse conhecimento vai mais além.

Nessa perspectiva, Silva (2014), coloca a necessidade de se conhecer algumas propriedades mecânicas e físicas para a utilização do bambu como elemento estrutural, como a resistência ao cisalhamento, resistência a compressão e resistência a tração.

Desta forma o presente trabalho se propõe a realizar um estudo analítico e numérico do comportamento, com relação à distribuição de cargas, na treliça do Centro de Convivência da Ufersa /Campus Angicos, realizando a substituição do material original (aço) da treliça por Bambu.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Realizar um estudo analítico e numérico, na estrutura treliçada do Centro de Convivência da Ufersa/Campus Angicos, substituindo o material original (aço), pelo Bambu, através do Software SAP2000.

1.1.2 Objetivos específicos

- Realizar um estudo teórico das propriedades mecânicas do Bambu com aplicações em elementos estruturais;
- Desenvolver o modelo numérico da treliça do centro de convivência do campus Angicos, considerando o aço e o Bambu, através do Software SAP2000;
- Realizar um estudo comparativo dos resultados obtidos da distribuição de cargas da treliça em aço e da treliça em Bambu;
- Verificar quais adequações serão necessárias realizar na treliça em Bambu para obter o melhor desempenho estrutural.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Análise estrutural

De acordo com Silva (2017), a análise estrutural acontece com o objetivo de determinar o comportamento da estrutura quando ocorre aplicações de diferentes tipos de carregamentos. Neste contexto, são determinados os efeitos das solicitações previamente consideradas e calculadas, estimando como as ações vão se distribuir nos elementos estruturais e obtendo os esforços internos.

Segundo Oliveira (2015), adota-se geralmente na análise estrutural três métodos distintos: o método de análise elástica, o método de análise elastoplástica e o método de análise rígido-plástica.

Na análise elástica, aplica-se o método de análise estrutural que é baseado no comportamento elástico, as ligações devem ser classificadas de acordo com a sua rigidez rotacional, e deverão ter resistência suficiente para que a transmissão dos esforços atuantes que resultam da análise estrutural ocorra. Na determinação da distribuição dos esforços, as ligações podem se comportar de forma simplificada, mediante de uma curva momento-rotação linear.

Para se adotar o método de análise estrutural baseado no comportamento elastoplástico, as ligações devem ser consideradas em função de sua resistência e de sua rigidez rotacional. Neste método de análise, o comportamento da ligação requer uma representação matemática das curvas momento-rotação.

O método da análise rígido plástica, leva-se em consideração os efeitos da rigidez no comportamento das ligações. Por exemplo, as ligações são dadas como contínuas com resistência total, e semi - contínuas com resistência parcial, ou rotuladas com resistência nula. Deste modo, os esforços solicitantes devem ficar limitados à capacidade resistente da ligação.

2.1.1 Distribuição de cargas em estruturas

De acordo com Ricardo (1978) estrutura é um sistema com vários elementos conectados com a finalidade de suportar uma ação ou conjunto de ações, sendo a parte mais resistente de uma construção. As estruturas recebem e transmitem os esforços, dessa forma garante a solidez de uma edificação. Uma estrutura é formada por elementos estruturais, que combinados dão origem aos sistemas estruturais.

Os sistemas estruturais podem ser definidos como conjunto estável de elementos projetados e construídos para suportar e transmitir cargas, sem exceder os esforços resistentes dos elementos. Na execução de uma construção de grande ou pequeno porte, implica diretamente na construção de uma estrutura suporte, a mesma necessita de projeto, planejamento e execução. Desta forma, a estrutura tem como finalidade assegurar a forma espacial idealizada, garantir a integridade da edificação e receber e transmitir os efeitos das ações sofridas para o solo, realizando a sua distribuição de cargas (RICARDO 1978).

Segundo Fontana (2016), a distribuição de cargas em estruturas é transmitida seguindo as direções x e y . O autor também afirma que vigas em seção celular demonstram uma distribuição de cargas excêntricas eficiente com alta rigidez e resistência a torção.

2.1.2 Distribuição de cargas em treliças.

Segundo Santos (2020) a treliça é estrutura composta por partes reticuladas que possuem suas ligações entre barras, ou seja, em todos os nós da treliça existem rótulas. No estudo de uma treliça, as cargas são consideradas atuantes diretamente sobre os nós. Tendo suas ligações articuladas, a treliça apresenta apenas esforços internos axiais, sendo assim, gerando esforços normais de tração e compressão.

Em estruturas como pontes e treliças de telhados todas as cargas atuantes são aplicadas nos nós, o peso dos membros não é considerado devido a força suportada por cada membro geralmente é muito maior do que seu peso (SANTOS 2020).

Enquanto ao aspecto da distribuição de cargas nas treliças, é transmitida para a mesma nos nós através de uma série de terças. Como as cargas que se distribuem atua no mesmo plano da treliça, tem-se uma análise bidimensional das forças desenvolvidas nos membros da treliça. Os membros da treliça possuem forças atuando ao longo do seu eixo na forma de tração e compressão (HIBBELER 2017).

2.1.3 Análise numérica em estruturas

De acordo com Cesarino (2018), todo fenômeno da natureza pode ser descrito por formulações matemáticas, com o auxílio das leis da física, cálculo diferencial e integral. Visto isto, um fenômeno físico pode ser descrito por equações matemáticas, também chamadas de modelos matemáticos.

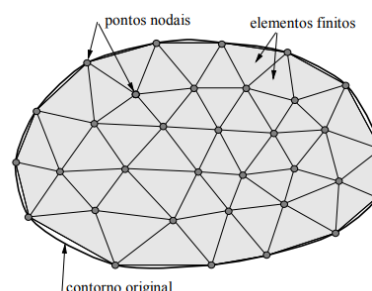
Modelos matemáticos de um problema de condições de contorno, ou fenômeno físico, são desenvolvidas a partir de equações matemáticas referente ao seu funcionamento, através do auxílio de axiomas e leis físicas que o governa (CESARINO, 2018).

Segundo Cesarino (2018) a simulação numérica é a solução de um problema com condições de contorno da mecânica do meio contínuo. Isto é possível graças à um conjunto de equações algébricas e de soluções por métodos matemáticos, desenvolvido por códigos computacional. O método de análise numérica atualmente que estão disponíveis na literatura são: Método dos Elementos Finitos, Método das Diferenças Finitas, Método dos Elementos de contorno e Método sem Malha. Deve-se salientar que esse trabalho se destina somente à estudar e aplicar o Método dos Elementos Finitos.

Segundo Uemura (2016), o Método dos Elementos Finitos (MEF), é um procedimento de soluções numérica aproximada aplicada em inúmeros problemas de engenharias, como análise de tensões e deformações em sólidos, análise linear ou não linear, eletromagnetismo, etc. Existe várias ferramentas numéricas que são empregadas para soluções de problemas, as mais utilizadas para problemas estruturais são modelos que podem ser construídos diretamente em softwares comerciais de simulação numérica ou por código de programação próprio desenvolvido por um engenheiro.

De acordo com Souza (2003), o Método dos Elementos Finitos (MEF), é formado por um método numérico aproximado para análise de diversos fenômenos físicos que acontecem em meios contínuos, o MEF é aplicado nas soluções de diversos problemas da engenharia. A ideia básica do Método dos Elementos Finitos consiste em separar o domínio do problema em sub-regiões de geometria simples, devido as sub-regiões apresentarem dimensões finitas são denominadas de elementos finitos. Estes elementos finitos são ligados entre si por pontos denominados de nós ou pontos nodais, conforme é representada na Figura 01. O grupo construído por esses elementos finitos e por pontos nodais é denominado de malha ou elementos finitos.

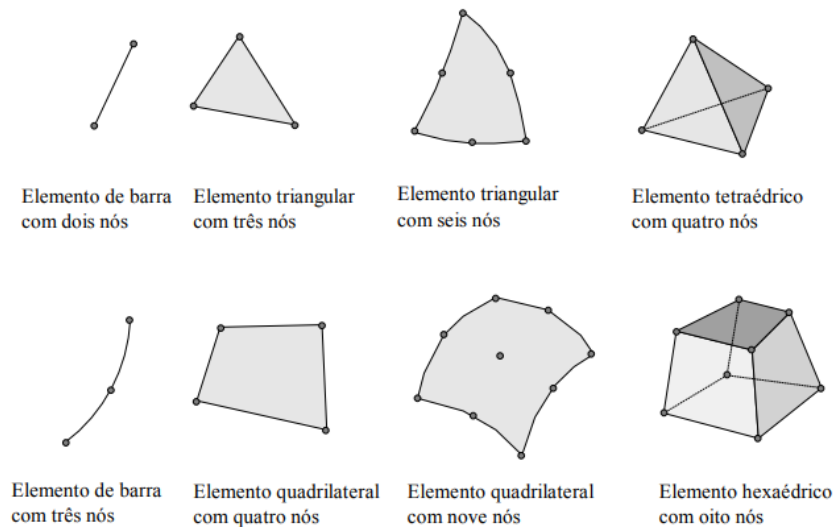
Figura 01: Exemplo de uma malha de elementos finitos.



Fonte: (SOUZA, 2003).

Sabe-se que várias formas geométricas de diversos tipos de elementos finitos já foram desenvolvidas, tem-se por exemplo: triangular, cúbica, quadrilateral etc, dependendo do tipo e dimensão do problema se: uni, bi ou tridimensional. Na Figura 02 são representados alguns tipos de elementos utilizados com detalhe para os nós que os compõem (SOUZA, 2003).

Figura 02: Tipos de elementos finitos.



Fonte: (SOUZA, 2003).

De acordo com Souza (2003), para que ocorra uma boa precisão do método, alguns fatores devem ser analisados, tais como quantidades de nós e elementos, tipo e tamanho dos elementos que compõem a malha. Deve-se salientar que um ponto de grande importância desse método de análise é a convergência, se o tamanho dos elementos da malha tende a zero e a quantidade de nós tende ao infinito, a solução obtida converge para a solução exata do problema.

2.1.3.1 Análise numérica via software

Análise numérica via software tem sido bastante utilizado tanto na indústria, para a fabricação e dimensionamento de elementos em infinitas aplicações e quanto no estudo e calibração de modelos matemáticos pela academia. A utilização desse método vem do baixo custo operacional e financeiro, boa precisão e agilidade no desenvolvimento de resultados e boa concordância com as soluções analíticas (CESARINO, 2018).

Segundo Cesarino (2018), a análise numérica via software possibilita analisar diversos problemas de alta complexidade, analisando várias características físicas do problema estudado como a geometria complicada e diversas combinações de materiais e de cargas.

De acordo com Ribeiro (2017), o SAP2000 é um programa de análise numérica tridimensional de estruturas, o SAP2000 fornece uma análise estrutural do sistema em estudo, apresentado diagramas de momentos, forças cortantes e força normal, assim como visualização dos deslocamentos.

Segundo Ramos (2017), o software SAP2000 de análise estrutural utiliza o método dos elementos finitos para realizar uma análise computacional de estrutura, com qualquer geometria, material e sob quaisquer condições de carregamentos. O mesmo possui um grande diferencial, pois além de realizar a verificação da estrutura, o software SAP2000 faz o dimensionamento.

Deve-se salientar que o SAP2000 trabalha basicamente com dois tipos de formas de inserção de modelo, o desenho no próprio software ou importação de um arquivo CAD (RAMOS 2017).

2.2 Estruturas treliçadas

Treliça é toda estrutura formada por elementos retilíneos que são conectados em juntas localizadas nas extremidades de cada elemento. A treliça é um dos principais tipos de estruturas utilizado na engenharia, devido a sua praticidade de oferecer soluções econômicas (CAVALCANTE 2011).

De acordo com Castilhos (2014), uma treliça é descrita como um conjunto de triângulos formados por peças retas e articuladas entre si. Quando uma estrutura treliçada é projetada de maneira que siga proporções que são tidas como normais e adequadas, a mesma dispõe de ter os eixos de todas as suas barras retas e juntas nos nós, tendo o carregamento atuando somente nesses pontos.

Segundo Castilhos (2014), as treliças planas podem assumir várias formas como: treliça pratt, treliça Howe, treliça Warren, sistemas K-contraventado e sistema contraventado com losangos. No âmbito construtivo, as estruturas treliçadas apresentam-se ser mais vantajosa que os demais tipos de estruturas. A treliça que é constituída de menos barras possui geralmente um melhor aspecto, devido ser constituída por uma quantidade menor de barras e, conseqüentemente menos ligações.

De acordo com Criado (2017), quando se ar necessidade de vencer grandes vãos uma das opções é a construção de pontes treliçada, a mesma possui como característica do sistema estrutural principal, uma viga treliçada. Esse tipo de estrutura é utilizado em situações de obras emergenciais, que necessitam de uma construção rápida.

As vigas treliçadas contêm uma enorme vantagem que é de conter o valor da relação do seu peso e o seu comprimento bastante baixo se comparado ao de uma viga com perfil de alma cheia. Além do mais, a resistência dos sus elementos estruturais com relação à sua seção transversal é bastante alta (CRIADO 2017).

Segundo Criado (2017), existe várias disposições construtivas de treliças e a escolha do tipo da treliça está associada ao tipo de força atuante ao qual a estrutura será submetida. Devido ao efeito de flambagem que exigem seções de maior rigidez, as barras tracionadas geralmente apresentam seções transversais mais leves, quando comparadas as barras comprimidas.

Segundo Soriano (2010), basicamente a análise de treliças é realizada através de dois métodos; Método dos Nós e Método das Seções.

De acordo com Cavalcante (2011), o Método dos Nós consiste na resolução das equações de equilíbrio dos pontos nodais de uma treliça, garantido que os esforços nodais internos se equilibrem pelas forças nodais externas. Para cada nó existente em uma treliça, pode-se ser desenhado um diagrama de corpos livres, com isso desmembrando cada pino de uma treliça. Cada barra da treliça está sujeita a duas forças, uma em cada extremidade, tendo essas forças o mesmo modulo e a mesma linha de ação, mas sentidos opostos.

Já o Método das Seções, fundamenta-se no fato de que à treliça está em equilíbrio, com isso cada uma de suas partes também estão em equilíbrio. O método acontece da seguinte forma, secciona a parte da treliça que se deseja conhecer seus esforços, logo em seguida é aplicado as equações de equilíbrio no trecho escolhido. Esse procedimento deve-se repetir até que todas as barras da treliça tenham seus esforços determinados (CAVALCANTE 2011).

De acordo com Moré (2003), o bambu pode ser utilizado como material para construção dos mais diversos tipos de treliças. Na Figura 03 a seguir é demonstrado treliças de bambu para sustentação de telhado residencial e para ponte treliçada com bambu.

Figura 03: Treliça de bambu para sustentação do telhado/ Ponte treliçada em bambu.



Fonte: (MORE 2003).

2.3 O uso de bambu em estruturas

De acordo com Moré (2003) o bambu é uma planta perene que é concebida espontaneamente em diversas partes do mundo, exceto na Europa. Existe fatos documentados que comprovam a utilização do bambu em diversas circunstâncias.

O bambu vem chamando atenção de diversos pesquisadores, devido seu rápido crescimento e diversos usos. Fato interessante desta planta, é que todas as suas partes podem ser utilizadas. A planta pertence à família das gramíneas, é bastante utilizada em diversos ramos da ciência e no trabalho humano, destacando-se a sua velocidade de crescimento, sustentabilidade ambiental, sua resistência mecânica e sobretudo a sua flexibilidade (MORE 2003).

A alta produtividade do bambu é o que diferencia de outros materiais vegetais estruturais. Após dois anos e meio, o bambu obtém resistência mecânica estrutural e somado com suas características favoráveis como um formato tubular oca, estruturalmente firme, com um baixo peso específico, otimizando a razão resistência mecânica/peso da matéria (PEREIRA 2012).

De acordo Marçal (2018), o bambu vem sendo considerado como a madeira do século 21, visto que a grande variedade de usos do bambu, junto com a facilidade de integração entre plantio, corte, transporte, manuseio e resistência desse material. O próprio pode ser utilizado para construções de moradias, especialmente para beneficiar camadas sociais mais carentes.

Diante da versatilidade do bambu, que vai desde a produção de alimentos e artesanato, até sua aplicação na construção civil, Marçal (2018), reitera que o bambu é um material bastante vantajoso para ser utilizado no Brasil, devido o mesmo ser bem ambientado com o clima

tropical e úmido, e por esse motivo é encontrado em abundância na natureza. O mesmo cultivado em grandes quantidades favorece o manejo e consequentemente o custo de produção diminui.

De acordo com Marçal (2018), a trabalhabilidade do bambu é única, devido o mesmo possuir peças leves que apresentam um acabamento natural. O autor ainda ressalta que o mesmo pode ser associado a diferentes materiais, em estruturas metálicas, estruturas de concreto armado e de madeira, de maneira a aproveitar da melhor forma possível suas propriedades físicas e mecânicas.

Segundo Soares (2013), o bambu é um material que naturalmente foi se aperfeiçoando para resistir a momentos fletores, devido o mesmo funcionar na natureza como uma consola que está fixa ao solo e está sujeita as cargas do seu peso próprio e do vento. O bambu apresenta um bom comportamento para ações sísmicas e dinâmicas, o que se torna um material adequado para se utilizar em coberturas que estão sujeitas à ação do vento.

Dos vários sistemas construtivos, a forma mais empregada do bambu em coberturas é no formato de peças cilíndricas, tanto na composição de pequenos módulos nas tesouras, nas estruturas espaciais, ou como terças e caibros. Para grandes vão, existe a possibilidade de adotar soluções em treliças planas ou espaciais. Tendo a treliça como uma das mais importantes formas estruturais da engenharia, devido a mesma suportar grandes vão considerável sem o comprometimento da estrutura, desta forma fica viável a confecção de pontes e coberturas residenciais (MORE 2003).

De acordo com Lana (2016), as construções de bambu trazem toda uma estética dos trançados empregados na construção. Como pode ser observado na Figura 04, a complexidade artesanal dos trançados das paredes.

Figura 04: Estruturas e paredes de bambu.



Fonte: (LANA 2016).

Na Figura 05 apresenta-se um pavilhão, outro bom exemplo da utilização do bambu como material estrutural na construção.

Figura 05: Pavilhão de bambu.



Fonte: (SOARES 2013).

2.3.1 Propriedades mecânicas do bambu

Para a realização desse trabalho e com a ideia de realizar a substituição do aço pela Bambu, foi necessário realizar um levantamento em alguns trabalhos na literatura, como forma de obter as propriedades mecânicas necessárias para realização dos cálculos analíticos e principalmente as simulações numéricas. Buscou-se propriedades de resistência à flexão, compressão e ao cisalhamento.

De acordo com Alves (2018) o bambu possui propriedades mecânicas diferentes nas três direções ortogonais: longitudinal, tangencial e radial, devido o bambu ser um material ortotrópico. A resistência mecânica do material é muito influenciada pelo conteúdo de umidade da amostra e também pela idade do lote.

Janssen (1981) *apud* Soares (2013) e Arce-Villalobos (1993) *apud* Soares (2013), realizaram um levantamento bibliográfico com relação as propriedades mecânicas de várias espécies de Bambu. Nos trabalhos foram abordadas pesquisas que trouxeram informações sobre resistência à tração e compressão, para algumas espécies de bambu. Importante destacar que Arce-Villalobos (1993) *apud* Soares (2013), dedica-se apenas ao levantamento de dados referentes à resistência à tração e compressão, enquanto Janssen (1981) *apud* Soares (2013), traz também, além de dados referentes à resistência à tração e compressão, o modo como as

peças de bambu reagem quando submetida à flexão, ao cisalhamento, coeficiente de Poisson e densidade.

Na Tabela 01 são apresentadas as informações das pesquisas levantadas por Janssen (1981) *apud* Soares (2013).

Tabela 01: Propriedades mecânicas de Bambu pesquisadas por Janssen (1981) *apud* Soares (2013).

AUTOR	PROPRIEDADES MECÂNICAS		ESPÉCIE DE BAMBU
	Tensão de Ruptura (MPa)	Módulo de elasticidade (MPa)	
Teodoro (1925)	55	10300	Bambusa spinosa
Teodoro (1925)	33	18400	Bambusa Vulgaris
Espinosa (1930)	143	-	Bambusa spinosa
Glenn (1950)	145	14500	Não especificou
Sekhar (1961 à 1962)	56 e 100	8800 e 15400	Bambusa nutan
Sekhar (1961 à 1962)	92 e 97	13700 e 16000	Densrocalamus

Fonte: Adaptada de SOARES (2013).

Arce-Villalobos (1993) *apud* Soares (2013), aborda em sua pesquisa dois trabalhos que trazem valores de esforços a compressão. São as pesquisas de Meyer e Ekelund (1923) e de Espinosa (1930).

Meyer e Ekelund (1923), apresenta ensaios à compressão com amostras de bambu de altura e diâmetros similares, devemos salientar que o autor não especificou a espécie de botânica do bambu. Com o ensaio, o autor obteve valores de resistência máxima de 39,27 MPa.

Espinosa (1930), realizou ensaios a compressão com a espécie *Bambusa Spinosa* das Filipinas, com amostras de 1,20 3 a,35 metros de altura. Os resultados ficaram entre 27 e 32 MPa para a amostra de dimensão maior, e para a amostra de dimensão menor os valores ficaram entre 51,8 e 82, 9 MPa.

De acordo com Marçal (2008), as características mecânicas do bambu são influenciáveis pelos fatores como: idade, tipo de solo, espécie, teor de umidade das amostras, época da colheita, comprimento do calmo, condições climáticas e ausência de nós nas amostras. Para obter um ótimo desempenho estrutura do bambu em relação à compressão, torção, flexão e tração, o mesmo está relacionado a sua volumetria tubular e seus arranjos longitudinais de suas fibras.

Segundo Moraes (2011), o bambu apresenta excelentes propriedades mecânicas, influenciados pela idade, massa específica e teor de umidade do colmo (Tabela 02).

Tabela 02: Resistência mecânica de algumas espécies de Bambu.

TRAÇÃO (MPa)	COMPRESSÃO (MPa)	FLEXÃO (MPa)	CISALHAMENTO (MPa)	ESPÉCIE
135	40	108	46	Dendrocalamus giganteus
285	28	89	6,6	Dendrocalamus asper
103	27	75	56	Bambusa multiplex
111	34	93	54	Bambusa tuldoidea
82	27	78	41	Bambusa vulgaris
149	46	124	41	Bambusa schrad
297	34	76	9,5	Bambusa arundinacea
130	42	102	48	Guadua superba
237	29	82	8,0	Gigantochloa verticillata
120	42	-	-	Pyllostachys bambusoides
296	30	84	7,2	Gigantochloa apus
288	31	97	8,2	Gigantochloa atter

Fonte: Adaptada de MORAIS, (2011).

Ghavami e Marinho (2004) realizou ensaios de resistência à tração e compressão da base, centro e topo do bambu *Guadua angustifolia*. Pode-se observar que o diâmetro externo diminui da base para o topo, apresentando comportamento quase linear, com valor máximo de 101,86 mm na base e 31,21 mm no topo, obtendo-se um valor médio de 79,56 mm, e espessura da parede de 16 mm.

Os resultados de resistência à tração e compressão e suas respectivas propriedades mecânicas então apresentadas na Tabela 03. Na Tabela, pode-se observar que o bambu da espécie *Guadua angustifolia* atinge um valor médio à tração de 86,96 MPa, já para a compressão o valor médio é de 29,48 MPa, com isso Pode-se notar que a resistência a tração é três vezes maior que a resistência a compressão (GHAVAMI e MARINHO, 2004).

Tabela 03: Resistência à tração e compressão, módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson das partes basal, centro e topo, com e sem nó, do Bambu *Guadua angustifolia*.

Parte do bambu	Resistência à tração σ_t (MPa)	Resistência à compressão σ_c (MPa)	Módulo Elasticidad e-E (GPa)	Coef. Poisson μ
Base sem nó	93,38	28,36	16,25	0,19
Base com nó	69,88	25,27	15,7	-
Centro sem nó	95,8	31,77	18,1	0,25
Centro com nó	82,62	28,36	11,1	-
Topo sem nó	115,84	25,27	18,36	0,33
Topo com nó	64,26	31,77	8	-
Valor médio	86,96	29,48	14,59	0,26
Variação	64,26 - 115,84	25,27 - 34,52	8,0 - 18,36	019 - 0,33

Fonte: Adaptada de GHAVAMI E MARINHO (2004).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Estrutura pesquisada

A estrutura pesquisada faz parte da cobertura do centro de convivência do Campus Angicos e é composta por seis treliças que suporta um peso de 232 telhas onduladas de cimento reforçado com fio sintético. Cada telha pesa 55 kg, com isso, exerce uma força total em forma de peso de 125.175 kN. Essa força total é distribuída igualmente em 10 terças e consequentemente para as seis treliças, está carga concentra-se nos nós mais próximos das terças, que corresponde aproximadamente ao valor de 2.086 kN (CAVALCANTE, 2011). Na Figura 06 tem-se detalhe da treliça pesquisada.

Figura 06: Treliça do Centro de Convivência UFERSA/Angicos.



Fonte: (FARIAS 2019).

3.2 Materiais utilizados

Para a realização das simulações numéricas serão utilizados dois tipos de materiais o material da treliça original (aço), e o bambu.

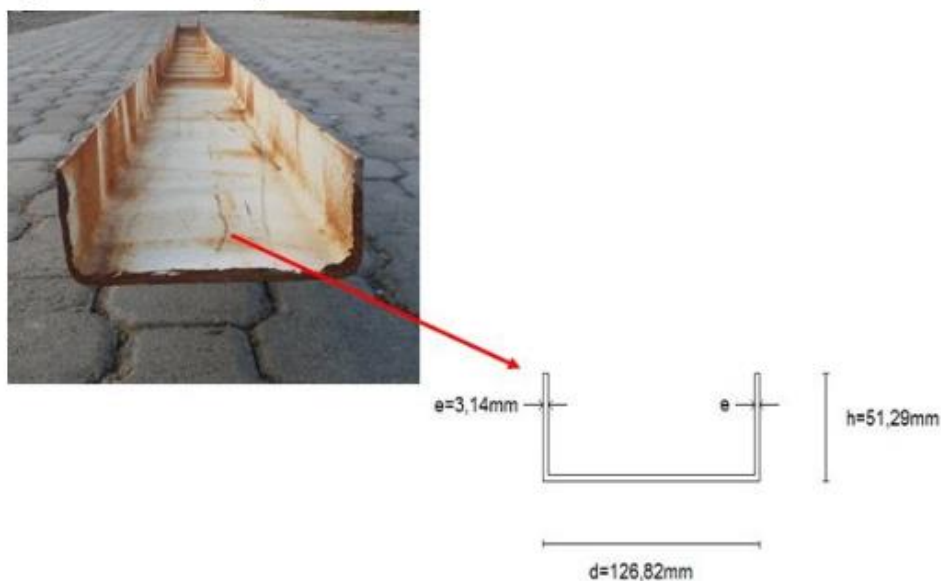
3.2.1 Propriedades mecânicas dos materiais utilizados

3.2.1.1 Propriedades mecânicas do aço da treliça

A treliça é de aço, isotrópica, densidade (ρ) 7850 kg/m³, coeficiente de Poisson (ν) igual a 0.32 e o módulo de elasticidade (E) correspondente a 200 GPa, com comprimento e altura máxima respectivamente de 20m e 1,5m. O banzo superior da treliça é submetido à compressão e o banzo inferior à tração (CAVALCANTE, 2011.)

Os perfis metálicos da treliça estudada apresentam seções transversais em forma de U. Na Figura 07 tem-se detalhes da espessura, altura e largura da seção transversal (CAVALCANTE, 2011).

Figura 07: Detalhe da seção transversal dos perfis metálicos da treliça.



Fonte: (CAVALCANTE, 2011).

3.2.1.2 Propriedades mecânicas do Bambu utilizado

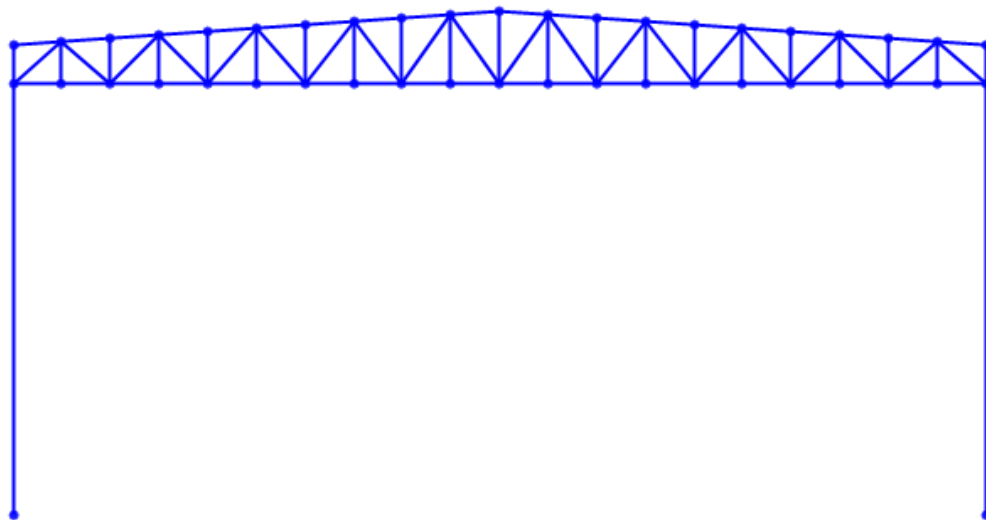
Para a realização da análise numérica da treliça de bambu, faz-se necessário um conhecimento de uma série de propriedades acerca do material e da sua seção transversal, as quais permitem a realização da modelagem numérica no software SAP2000, e com isto verificar o seu comportamento. As propriedades mecânicas do material bambu junto com a seção transversal foram obtidas na literatura.

O bambu escolhido para a realização da modelagem numérica foi o *Guadua angustifolia*. Ghavami e Marinho (2004) realizaram ensaios de resistência à tração, à compressão e ao cisalhamento da base, centro e topo do bambu. O bambu foi escolhido devido o mesmo apresentar valores médios altos de resistência a tração de 86,96 MPa, módulo de elasticidade (E) = 14,59 GPa e Poisson (μ) = 0,26. A espécie *Guadua angustifolia* apresenta uma pequena variação no seu diâmetro externo, tomando-se um comportamento quase linear, obtendo-se assim um valor médio de 79,56 mm, o seu diâmetro máximo chega a 101,86mm e espessura da parede de 16 mm.

3.3 Protótipo adaptado da treliça

A treliça estudada passou por uma adaptação, com isso, tornou-se necessário a remodelagem da geometria retirando algumas barras e simplificando a estrutura (Figura 08). Deve-se lembrar que essa adaptação não descaracteriza o estudo de caso.

Figura 08: Estrutura remodelada.



Fonte: Autoria própria (2021).

3.4 Procedimento analítico de cálculo da treliça

Neste trabalho, para-se calcular os esforços atuantes em cada barra da treliça e para conhecer o seu comportamento, identificando se está ocorrendo compressão ou tração foi

utilizado o software Ftool, onde na estrutura lançaram-se o valor da combinação do estado limite último (ELU) nos pontos nodais definidos.

3.3 Desenvolvimento do modelo numérico

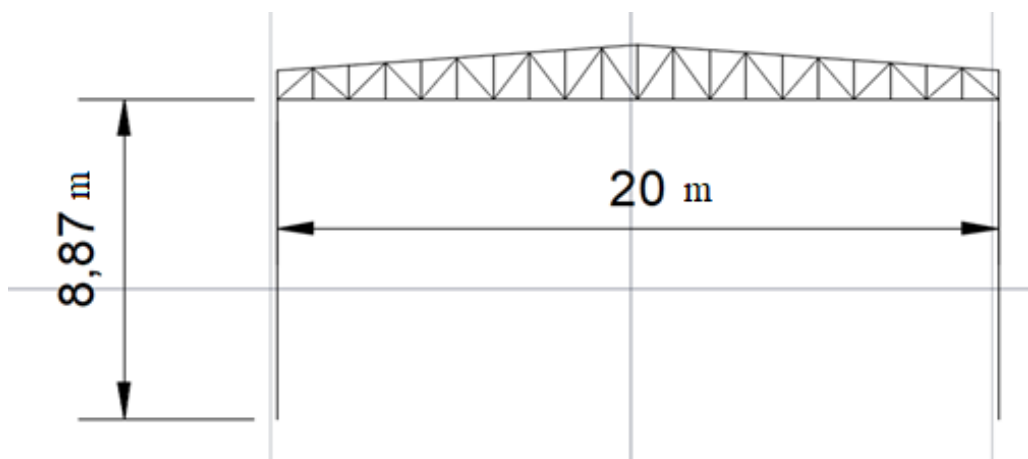
Para o desenvolvimento do trabalho foi necessário realizar a modelagem numérica da estrutura pesquisada por meio do software SAP2000. A fim de construir esses modelos, foi necessário obter as propriedades mecânicas dos materiais e seções transversais, conforme é descrito nos itens anteriores.

O modelo numérico utilizado será desenvolvido através do Software SAP2000. Para a verificação da eficácia da treliça em bambu, serão realizadas duas simulações. A primeira simulação será realizada utilizando a treliça original de aço a fim de obter os seus esforços normais de tração e compressão.

Logo em seguida, será realizada a segunda simulação utilizando o bambu como material da nova treliça, com o mesmo intuito de obter os esforços normais (tração e compressão), e assim realizar uma comparação com os resultados obtidos.

Para desenvolver a modelagem numérica através do SAP2000, primeiro foi realizado a preparação do desenho da estrutura no AutoCAD (Figura 09), devido o mesmo ter uma maior facilidade de desenho.

Figura 09: Desenho confeccionado no AutoCAD.

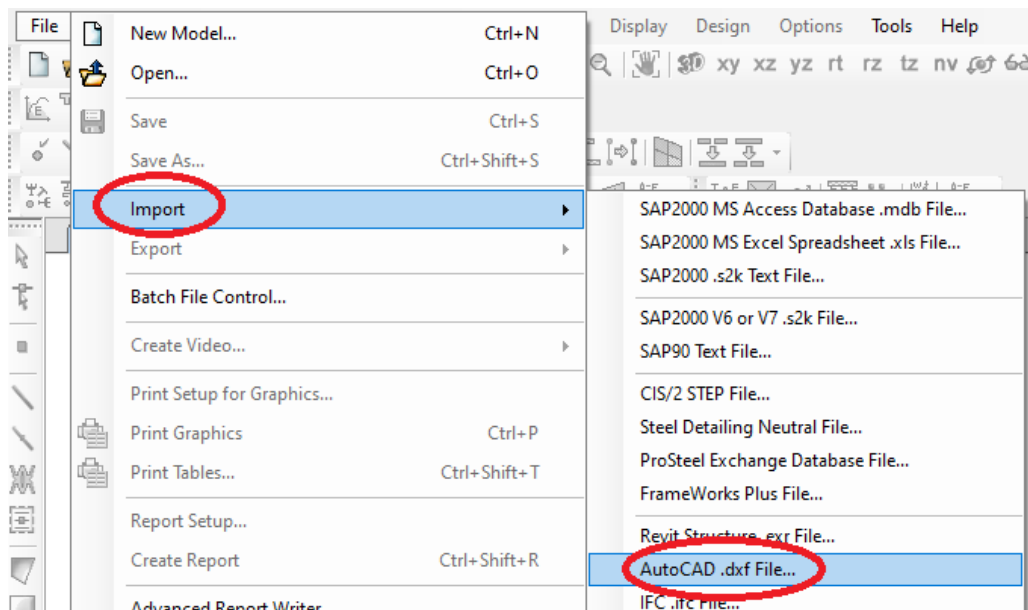


Fonte: Autoria própria (2021).

Com a execução do desenho da estrutura no AutoCAD, realizou-se a importação para o Software SAP2000. Vale ressaltar que foi realizado a importação somente dos nós, para que não ocorresse duplicações de barras e com isso alterando o resultado da análise. Para-se trabalhar com o arquivo no SAP2000, o mesmo deve-se ser salvo em DXF.

Para ter acesso ao desenho da estrutura no SAP2000, Clica-se no botão “file” na barra de tarefas, logo após em “import” e em seguida “AutoCAD.dxf file”, como está representado na Figura 10.

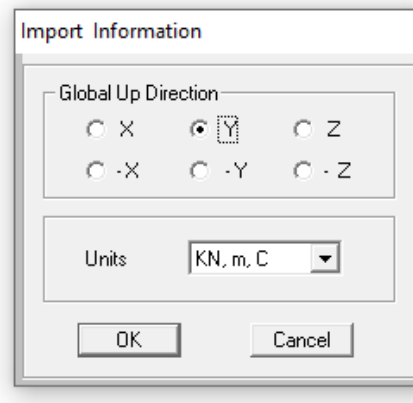
Figura 10: Importação da estrutura.



Fonte: Autoria própria (2021).

Localizando o arquivo em DXF clica-se em abrir, logo após o software requer duas informações, como pode-se ver na Figura 11. Primeiramente deve-se fornecer qual a direção global vertical, sabe-se que no software SAP2000 a direção vertical está no sentido do eixo z, porém no AutoCAD a direção vertical é no sentido do eixo y, logo marca-se o eixo y, dessa maneira o eixo z vertical do SAP2000 coincidirá com o eixo vertical y do AutoCAD. Antes de finalizar, foram adotadas as propriedades de medidas, sendo estas no SI (Sistema Internacional de Unidades).

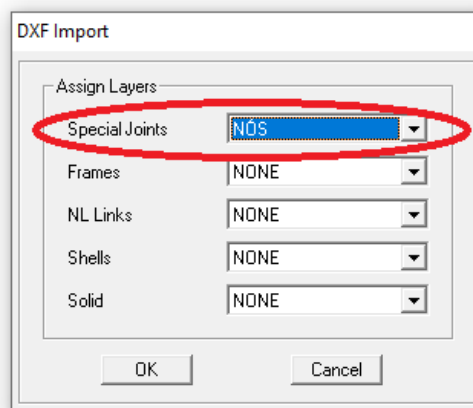
Figura 11: Informação do plano e unidades.



Fonte: Autoria própria (2021).

Após a confirmação do sentido vertical do plano e das unidades de medidas, realizou-se à importação dos nós da estrutura, deve-se informar qual *layers* do AutoCAD quer-se importar, em “*Special joints*” importa-se o *layer* nós (Figura 12).

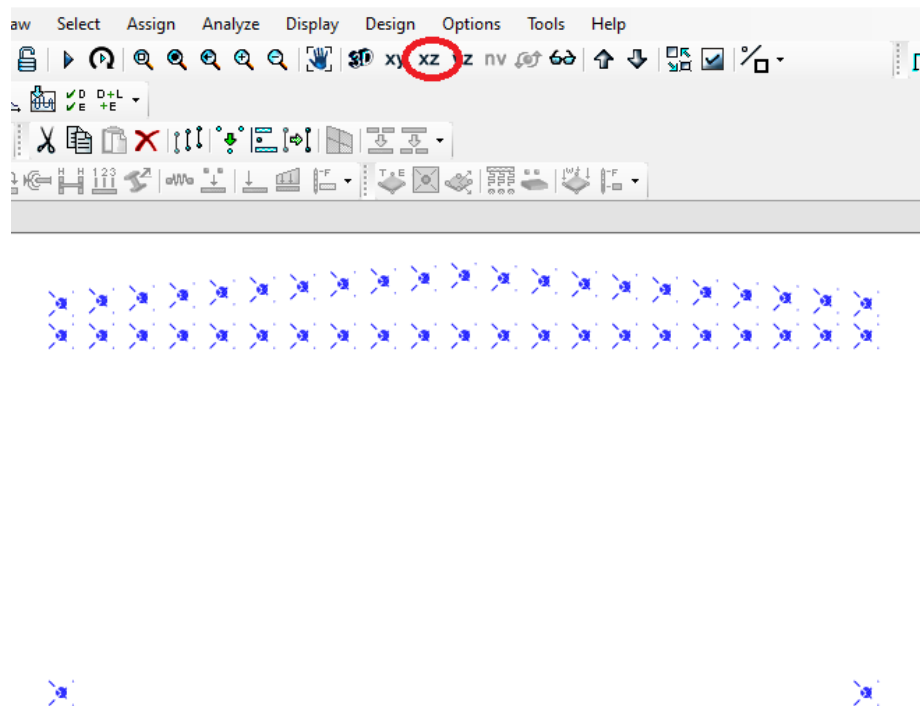
Figura 12: Seleção do *layer*.



Fonte: Autoria própria (2021).

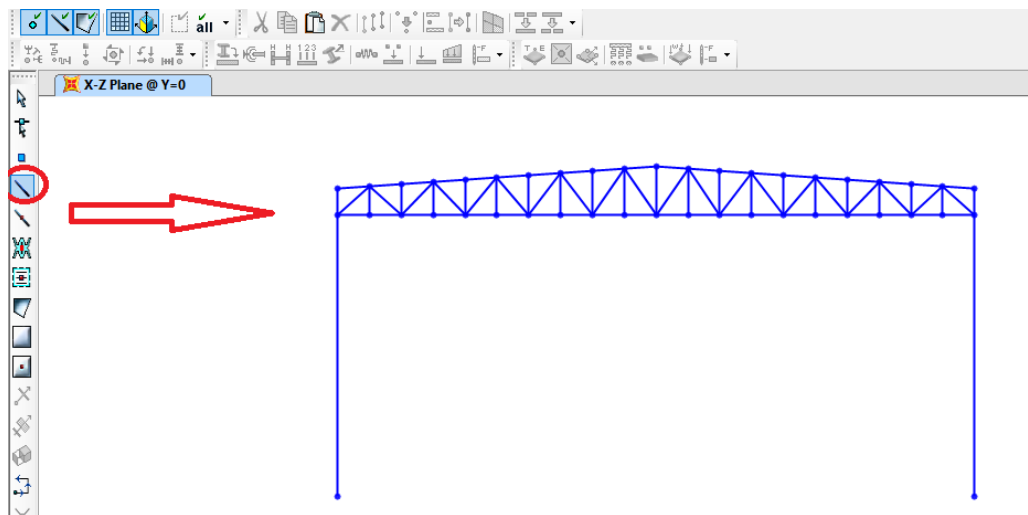
Com os nós da estrutura representado no SAP2000, determina o sentido global do nosso desenho, como mencionado anteriormente, o sentido vertical do SAP2000 é na direção do eixo z, com isto escolhe o plano que a estrutura será representada xz. Logo após é realizado a criação das barras da nossa estrutura, clica-se em “*draw/frameable*” e liga-se os nós. Nas figuras 13 e 14 tem-se detalhes dos procedimentos citados respectivamente.

Figura 13: Plano xz.



Fonte: Autoria própria (2021).

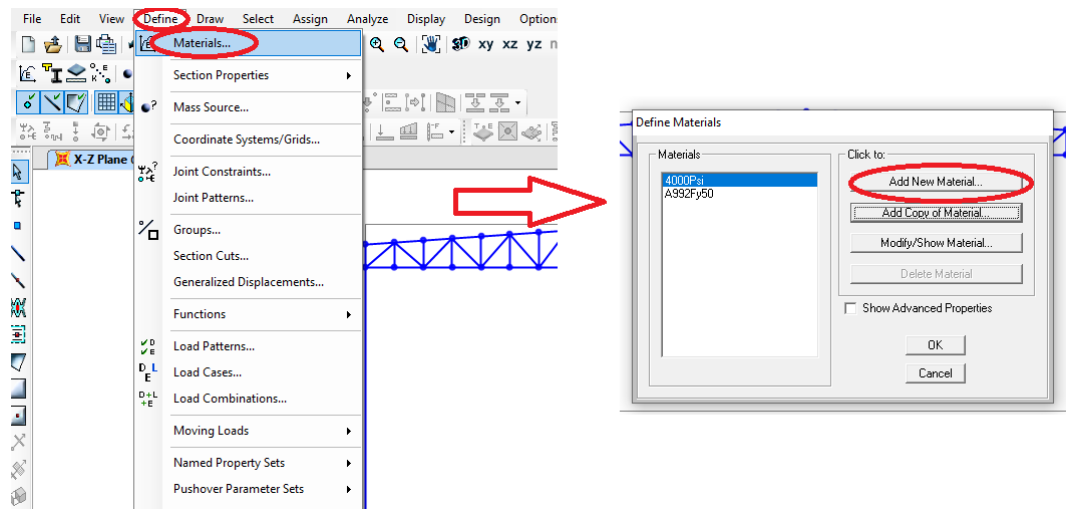
Figura 14: Criação das barras no SAP2000.



Fonte: Autoria própria (2021).

Com a estrutura criada, o passo seguinte é adicionar o material que compõe a estrutura, definindo o material da treliça e dos pilares, clica-se em “*Define*” logo após em “*Materials*” e com isso adiciona um novo material em “*Add New Material*”. Na figura 15 tem-se o detalhe do procedimento citado.

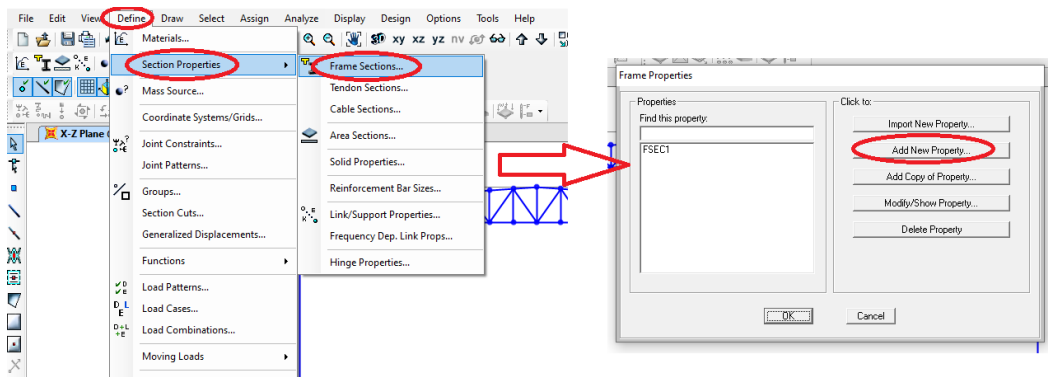
Figura 15: Adicionar material.



Fonte: Autoria própria (2021).

Logo após a definição do material, deve-se adicionar as propriedades das seções transversais, clicando-se em "Define", "Section properties", "Frame Sections" e "Add New Property" (Figura 16)

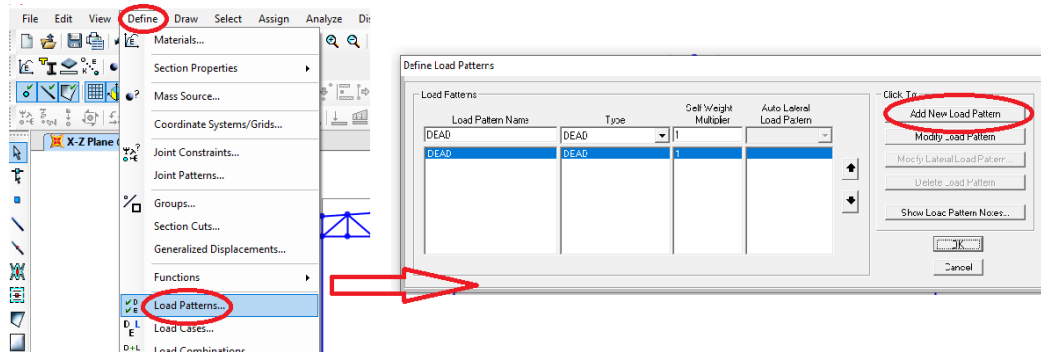
Figura 16: Adicionar propriedades da seção transversal.



Fonte: Autoria própria (2021).

O passo seguinte é a criação das cargas e combinações de ações que podem acontecer na estrutura. Sabe-se que diversas cargas podem estar atuando em uma determinada estrutura, neste trabalho considerou-se a carga do peso da telha, peso próprio da treliça e a sobrecarga accidental. Para a criação das cargas deve-se clicar em "Define", "Load Patterns" e "Add New Load Patterns", como está representado na Figura 17.

Figura 17: Criação de cargas.



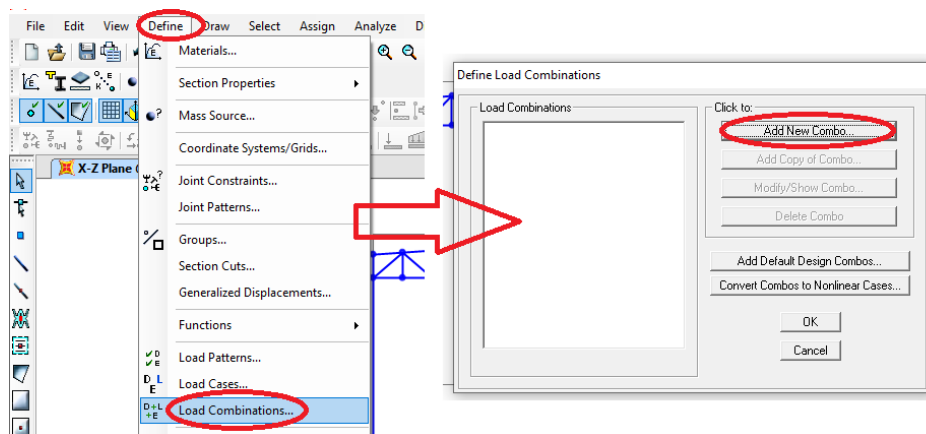
Fonte: Autoria própria (2021).

O tipo de carga para o peso do telhado foi considerada “*Dead*”, devido a mesma significar morto, ou seja, a carga não varia ao longo do tempo, já para o peso de sobrecarga o tipo escolhido foi “*Live*”, pois a mesma é uma carga viva, ou seja, é variável ao longo do tempo. Essas informações pode ser alteradas na aba “*Type*”.

O multiplicador “*Self Weight Multiplier*”, pode-se ser preenchido com o valor 1 ou 0, a diferença é que quando escolhe-se o valor 1, o próprio programa vai calcular qual é o peso próprio das barras da estrutura analisada e levar em consideração nos cálculos, já o 0 esse cálculo ocorreria manualmente.

Após a criação das cargas, faz-se a criação das combinações de ações, Estado limite último (ELU) e estado limite de serviço (ELS). Como está representado na Figura 18, para-se criar as combinações de ações, clica-se em “*Define*”, “*Load Combinations*” e “*Add New Combo*”.

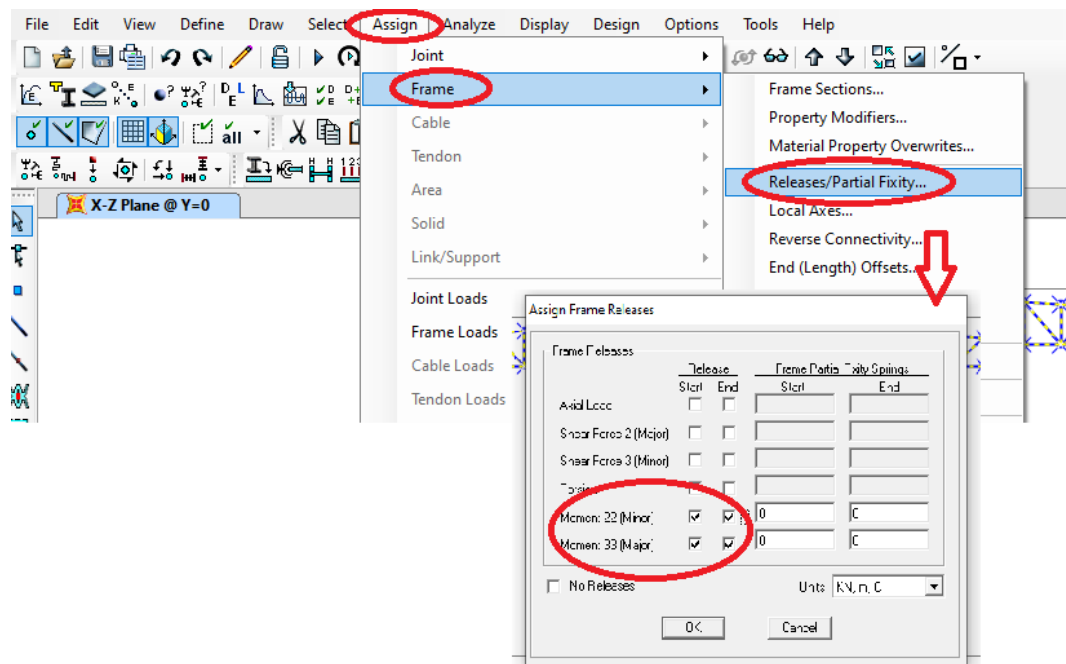
Figura 18: Criação das combinações de ações.



Fonte: Autoria própria (2021).

O passo seguinte é rotular as barras da estrutura estudada, sabe-se que na treliça, no seu diagrama de esforços, só tem que existir esforços normais. Para-se rotular, seleciona todas as barras que se deseja rotular, clica-se em “Assign”, “Frame” e “Releases/Partial Fixity”, marca-se o que se deseja liberar, neste caso o momento fletor no início e final de cada barra é igual a zero (Figura 19)

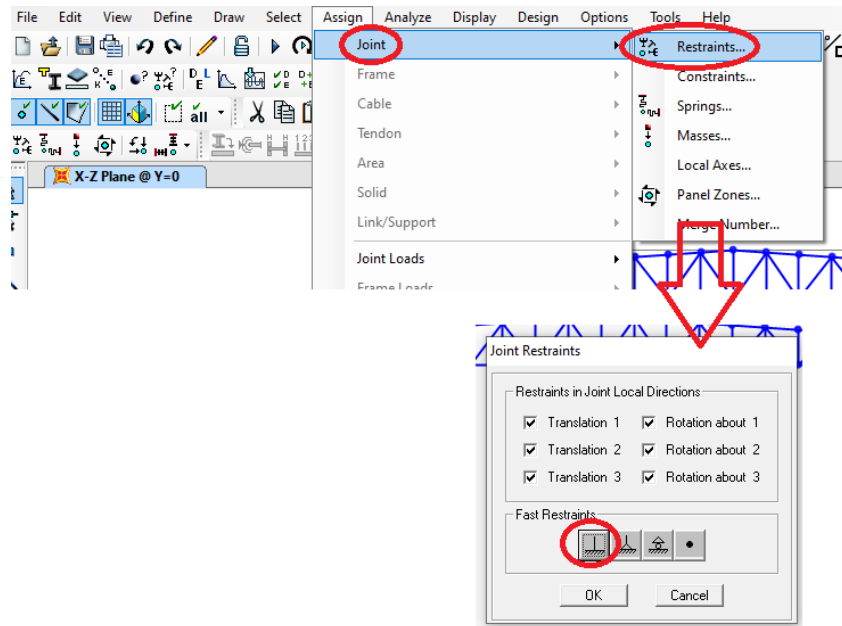
Figura 19: Rotulando as barras da estrutura.



Fonte: Autoria própria (2021).

O próximo passo foi colocar as condições de contorno no modelo. O mesmo tá composto por dois engastes. Para inserir o apoio, seleciona-se o ponto que possui as restrições. Clica-se em “assign”, em seguida “joint” e pra finalizar “restraints” e seleciona o tipo de apoio (Figura 20).

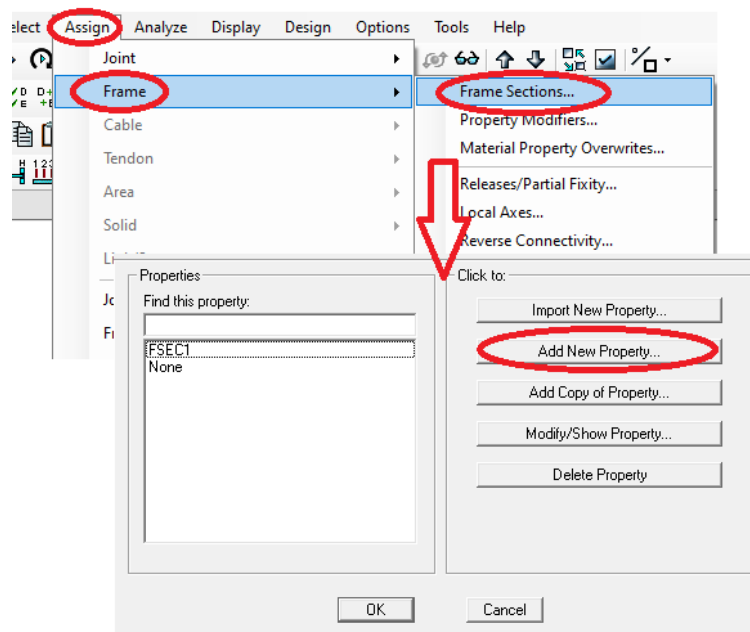
Figura 20: Seleção dos apoios.



Fonte: Autoria própria (2021).

O passo seguinte é atribuir o perfil as barras, primeiro seleciona-se as barras que se deseja atribuir um determinado perfil, clica-se em “Assign” em seguida “Frame” e “Frame Sections”, logo após “Add New Property” (Figura 21).

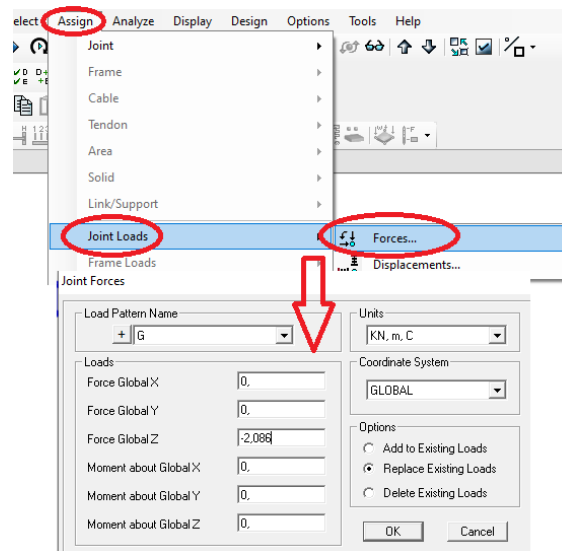
Figura 21: Atribuição do perfil as barras.



Fonte: Autoria própria (2021).

O próximo passo é inserir os carregamentos que atuam no modelo. Para-se inserir os carregamentos, primeiro seleciona o ponto de aplicação da força, em seguida clica-se em “Assign”, após em “Joint Loads” e “Forces”, na Figura 22 tem-se detalhes dos comandos.

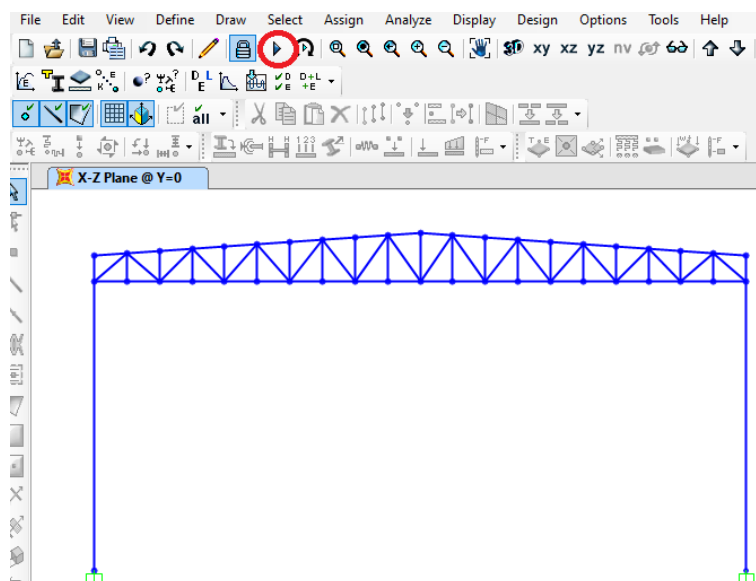
Figura 22: Inserir as forças atuante no modelo.



Fonte: Autoria própria (2021).

Com as forças atuantes inseridas, o programa realiza a análise numérica da estrutura, com isso determinando os efeitos das ações na estrutura. Clica-se em “run analysis” como está representada na Figura 23, e escolhe-se os casos que se deseja rodar.

Figura 23: Processamento da estrutura.



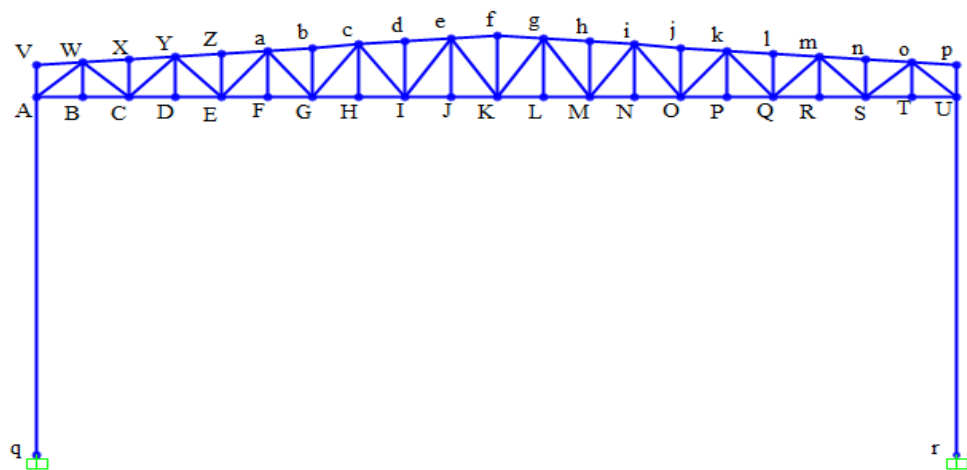
Fonte: Autoria própria (2021).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Apresentação dos resultados dos esforços normais obtidos analiticamente e numericamente na treliça.

Antes de realizar os cálculos foi necessário realizar a numeração das barras da treliça para melhor identificação da posição das barras. Na Figura 24 tem-se detalhes das posições das barras.

Figura 24: Posição das barras na estrutura.



Fonte: Autoria própria (2021).

Os esforços analíticos foram obtidos através do Ftool. Após isso foi realizada a simulação no software de modelagem numérica SAP2000, utilizando as propriedades da estrutura original o aço e após fazendo a substituição pelo bambu, através dessa análise foi possível obter os esforços normais de tração e compressão. Na Tabela 04 tem-se os resultados dos esforços nas barras utilizando o aço, para o Estado limite último.

Tabela 04: Esforços normais nas barras da treliça obtidos analiticamente e numericamente - aço.

Barras	Numérico (kN)	Analítico (kN)	Comportamento
VW = po	0,00	0,00	-
WX = on	-66,5	-59,70	COMPRESSÃO
XY = nm	-66,5	-59,70	COMPRESSÃO
YZ = ml	-99,7	-89,10	COMPRESSÃO
Za = lk	-99,7	-89,10	COMPRESSÃO
ab = kj	-111,09	-96,60	COMPRESSÃO
bc = ji	-111,09	-96,60	COMPRESSÃO
cd = ih	-113,13	-100,20	COMPRESSÃO
de = hg	-113,13	-100,20	COMPRESSÃO
ef = gf	-108,44	-96,20	COMPRESSÃO
AB = UT	32,56	29,00	TRAÇÃO
BC = TS	32,56	29,00	TRAÇÃO
CD = SR	80,78	72,10	TRAÇÃO
DE = RQ	80,78	72,10	TRAÇÃO
EF = QP	111,67	90,70	TRAÇÃO
FG = PO	111,67	90,70	TRAÇÃO
GH = ON	112,19	99,20	TRAÇÃO
HI = NM	112,19	99,20	TRAÇÃO
IJ = ML	107,09	94,70	TRAÇÃO
JK = LK	107,09	94,70	TRAÇÃO
AW = Uo	-47,75	-42,70	COMPRESSÃO
CW = So	40,2	36,30	TRAÇÃO
CY = Sm	-25,4	-22,30	COMPRESSÃO
YE = Qm	21,72	19,40	TRAÇÃO
Ea = Qk	-9,4	-7,70	COMPRESSÃO
aG = Ok	7,89	6,80	TRAÇÃO
Gc = Oi	-7,08	-6,50	COMPRESSÃO
cl = Mi	-3,68	-3,80	COMPRESSÃO
Ie = Mg	4,08	3,70	TRAÇÃO
eK = Kg	-4,15	-3,30	COMPRESSÃO
AV = Up	-8,08	-8,00	COMPRESSÃO
BW = To	0,13	0,00	TRAÇÃO
CX = Sn	-8,12	-8,00	COMPRESSÃO
DY = Rm	0,14	0,00	TRAÇÃO
EZ = Ql	-8,13	-8,00	COMPRESSÃO
Fa = Pk	0,15	0,00	TRAÇÃO
Gb = Oj	-0,15	0,00	COMPRESSÃO
Hc = Ni	0,16	0,00	TRAÇÃO
Id = Mh	-0,16	0,00	COMPRESSÃO
Je = Lg	0,18	0,00	TRAÇÃO
Kf	7,07	5,40	TRAÇÃO
qA = Ur	-101,76	-36,00	COMPRESSÃO

Fonte: Autoria própria (2021).

Na Tabela 05 tem-se os resultados dos esforços de tração e compressão utilizando o Bambu, para o Estado limite último.

Tabela 05: Esforços normais nas barras da treliça obtidos analiticamente e numericamente - Bambu.

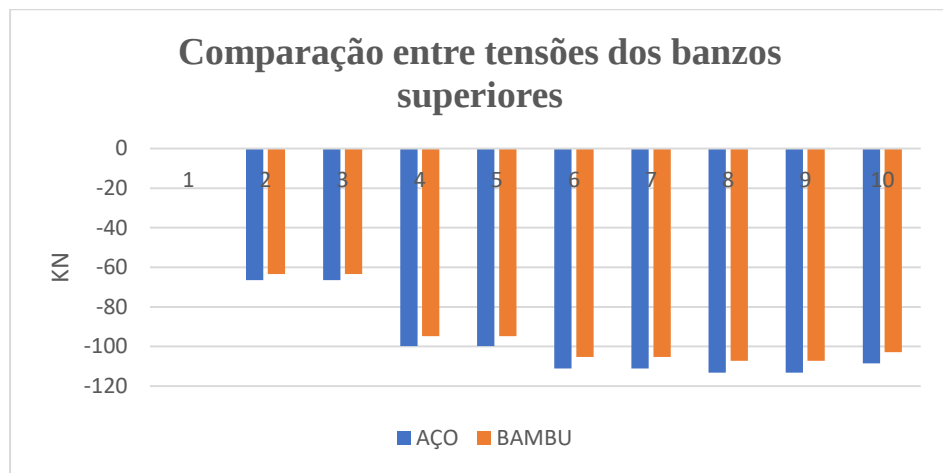
Barras	Númérico (kN)	Analítico (kN)	Comportamento
VW = po	0,00	0,00	-
WX = on	-63,37	-59,70	COMPRESSÃO
XY = nm	-63,37	-59,70	COMPRESSÃO
YZ = ml	-94,82	-89,10	COMPRESSÃO
Za = lk	-94,82	-89,10	COMPRESSÃO
ab = kj	-105,31	-98,60	COMPRESSÃO
bc = ji	-105,31	-98,60	COMPRESSÃO
cd = ih	-107,17	-100,20	COMPRESSÃO
de = hg	-107,17	-100,20	COMPRESSÃO
ef = gf	-102,79	-96,20	COMPRESSÃO
AB = UT	16,46	26,50	TRAÇÃO
BC = TS	16,46	26,50	TRAÇÃO
CD = SR	62,29	69,60	TRAÇÃO
DE = RQ	62,29	69,60	TRAÇÃO
EF = QP	82,43	88,20	TRAÇÃO
FG = PO	82,43	88,20	TRAÇÃO
GH = ON	91,42	96,60	TRAÇÃO
HI = NM	91,42	96,60	TRAÇÃO
IJ = ML	86,91	92,20	TRAÇÃO
JK = LK	86,91	92,20	TRAÇÃO
AW = Uo	-45,38	-42,70	COMPRESSÃO
CW = So	38,4	36,30	TRAÇÃO
CY = Sm	-23,95	-22,30	COMPRESSÃO
YE = Qm	20,63	19,40	TRAÇÃO
Ea = Qk	-8,57	-7,70	COMPRESSÃO
aG = Ok	7,37	6,80	TRAÇÃO
Gc = Oi	-6,76	-6,50	COMPRESSÃO
cI = Mi	-3,73	-3,80	COMPRESSÃO
Ie = Mg	3,89	3,70	TRAÇÃO
eK = Kg	-3,74	-3,30	COMPRESSÃO
AV = Up	-8,2	-8,00	COMPRESSÃO
BW = To	0,07	0,00	TRAÇÃO
CX = Sn	-8,05	-8,00	COMPRESSÃO
DY = Rm	0,074	0,00	TRAÇÃO
EZ = Ql	-8,03	-8,00	COMPRESSÃO
Fa = Pk	0,08	0,00	TRAÇÃO
Gb = Oj	-0,081	0,00	COMPRESSÃO
Hc = Ni	0,084	0,00	TRAÇÃO
Id = Mh	0,09	0,00	COMPRESSÃO
Je = Lg	0,093	0,00	TRAÇÃO

Kf	6,32	5,40	TRAÇÃO
qA = Ur	-99,57	-36,00	COMPRESSÃO

Fonte: Autoria própria (2021).

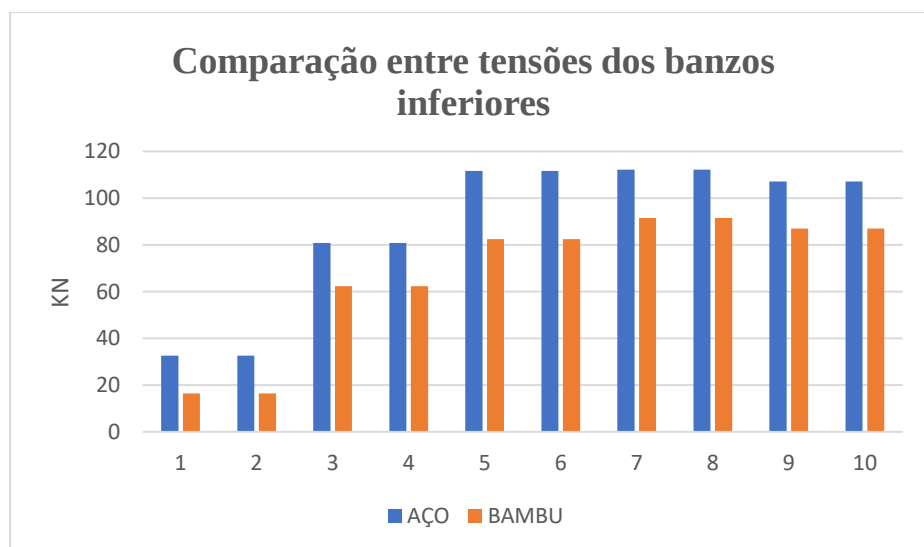
Após as simulações realizadas na estrutura utilizando o aço e utilizando o bambu, pode-se realizar uma comparação das tensões na estrutura, conforme mostrado nos Gráficos 1, 2, 3 e 4, para os banzos superiores, banzos inferiores, diagonais e montantes, respectivamente. Nas colunas em azul tem-se as tensões da treliça em aço e nas colunas em laranja as tensões da treliça em bambu.

Gráfico 1: Comparação entre tensões dos banzos superiores.

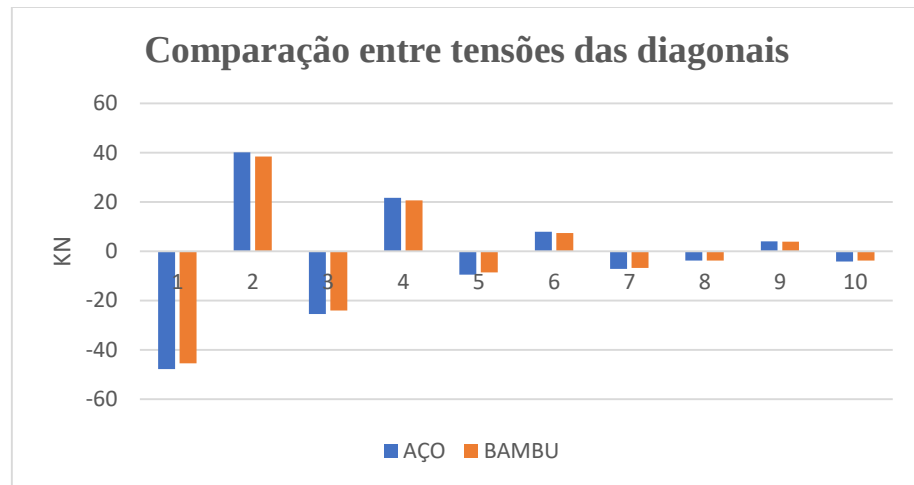


Fonte: Autoria própria (2021).

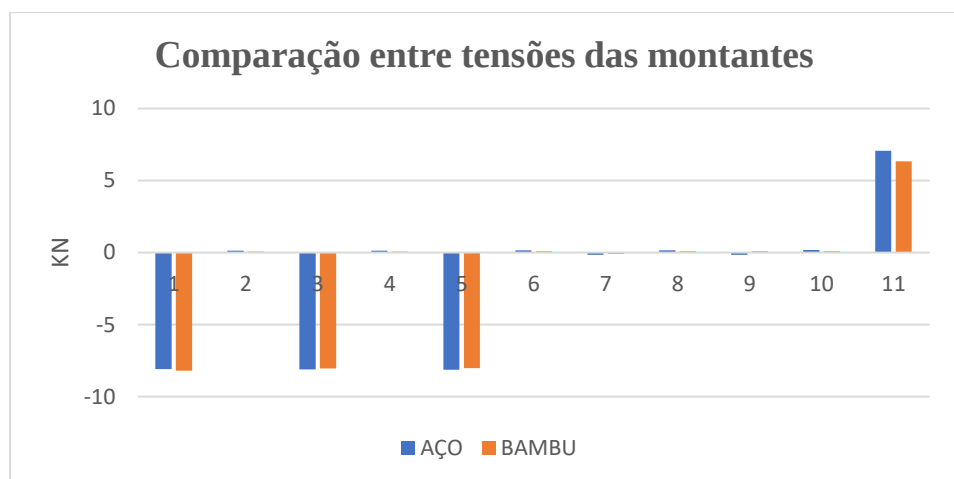
Gráfico 2: Comparação entre tensões dos banzos inferiores.



Fonte: Autoria própria (2021).

Gráfico 3: Comparação entre tensões das diagonais.

Fonte: Autoria própria (2021).

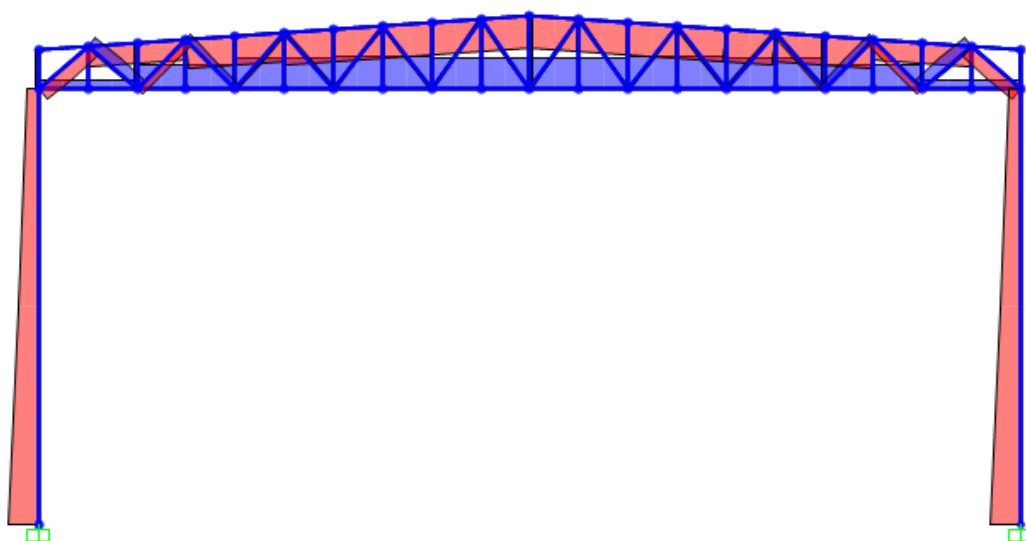
Gráfico 4: Comparação entre tensões das montantes.

Fonte: Autoria própria (2021).

Após a comparação das tensões, verifica-se uma semelhança na distribuição de cargas nas barras da treliça. Outro ponto bastante importante que é observado, é que na estrutura composta por aço, as tensões de tração e compressão são maiores que na estrutura composta por bambu, isso ocorre devido o bambu ser um material natural que possui densidade menor que a do aço.

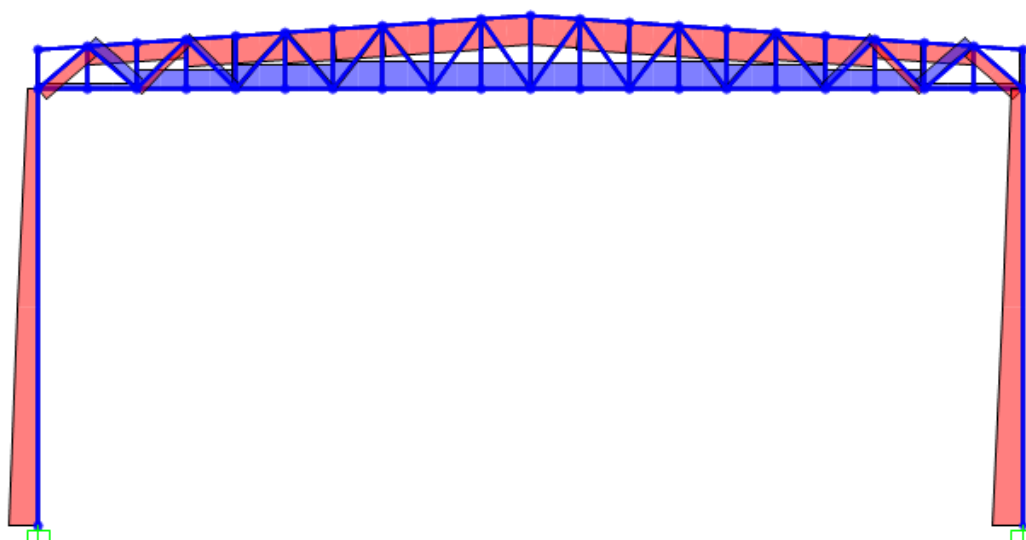
Nas Figuras 25 e 26 tem-se detalhes dos esforços normais (tração e compressão) da estrutura utilizando o material original da treliça, o aço e do bambu, respectivamente, obtido no programa de modelagem numérica (SAP2000). Barras com cor vermelha estão sendo comprimidas e as com cor azul estão sendo tracionadas, já as barras que não apresenta nenhuma cor estão isentas dos esforços.

Figura 25: Esforços normais utilizando o aço, via SAP2000.



Fonte: Autoria própria (2021).

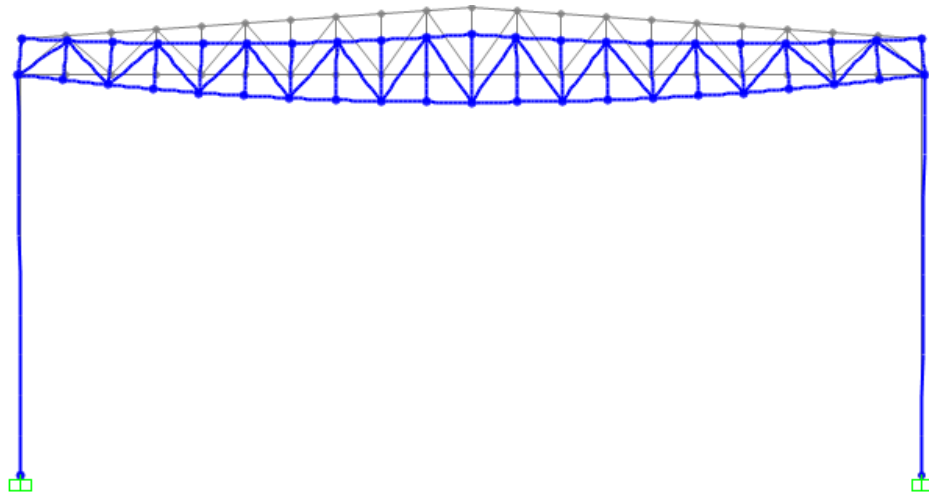
Figura 26: Esforços normais utilizando o Bambu, via SAP200.



Fonte: Autoria própria (2021).

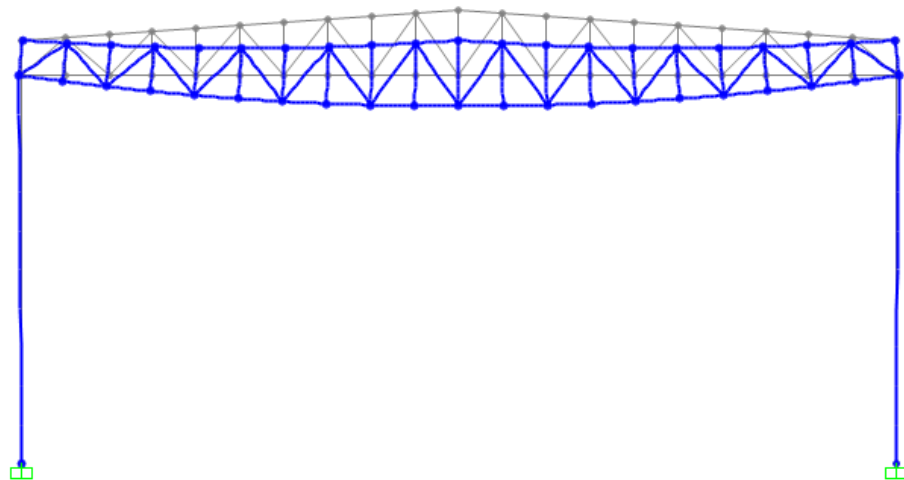
Através do programa de análise numérica, foi possível obter a deformada da estrutura, utilizando o aço e o bambu como material da treliça. Este comportamento ocorre em função das cargas aplicadas e consequentemente dos esforços nas barras. Nas Figuras 27 e 28 respectivamente, tem-se a deformada da estrutura com o material original da treliça o aço e a deformada utilizando o bambu como material da treliça.

Figura 27: Deformada da estrutura utilizando o aço como material da treliça.



Fonte: Autoria própria (2021).

Figura 28: Deformada da estrutura utilizando o bambu como material da treliça.



Fonte: Autoria própria (2021).

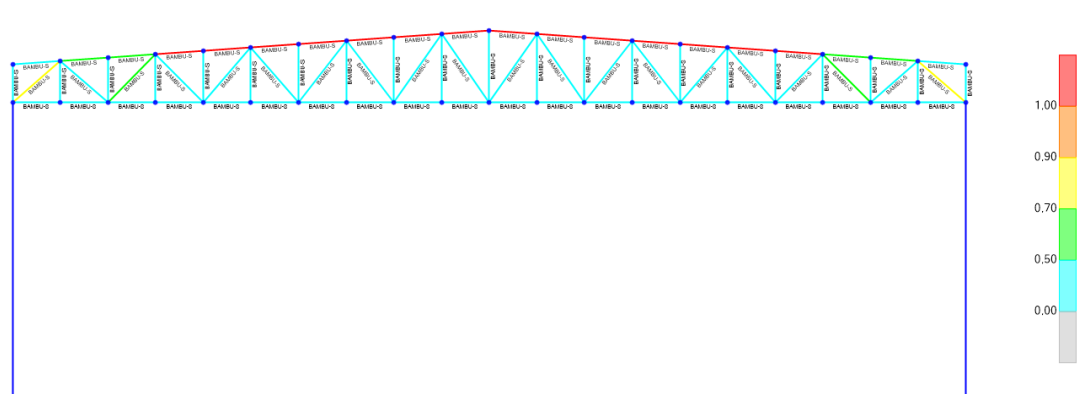
4.2 Apresentação dos resultados para verificação da resistência do Bambu em substituição ao aço.

Para verificar a eficiência da substituição do material da treliça em aço pelo bambu, solicitou-se ao programa SAP2000 realizar o dimensionamento da treliça, verificando-se a capacidade do material resistir as forças solicitantes. O software SAP2000, tem-se uma escala

de cores, a mesma representa capacidade de resistência de cada peça que compõe a treliça, a cor vermelha significa que a peça não resiste aos esforços solicitantes.

Na simulação realizada, o diâmetro adotado para as barras de bambu foi a média de 79,56 mm. No dimensionamento verificou-se que parte do banzo superior da treliça não resistiu os esforços solicitantes. Na Figura 29, tem-se detalhe do dimensionamento, as barras com a cor vermelha não passaram no dimensionamento.

Figura 29: Dimensionamento da treliça em bambu utilizando o diâmetro de 79,56 mm.



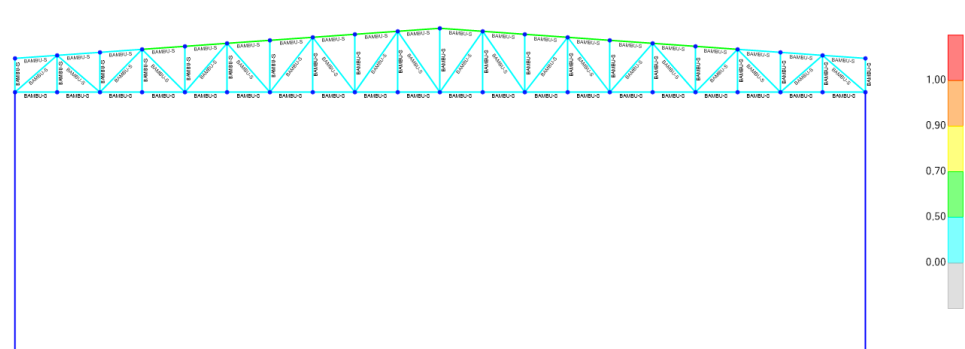
Fonte: Autoria própria (2021).

Com esse resultado, verificou-se que as barras onde as cargas axiais são mais elevadas, são aquelas que fazem parte do banzo superior, consequentemente as mesmas se romperam, pois sua capacidade de resistência está sendo superada. Na legenda da Figura 29, observa-se que as barras de bambu que ficaram na faixa azul, amarela e verde passaram no dimensionamento da treliça, as mesmas então usando até 70% da sua capacidade de resistência, porém as barras que com a cor vermelha, não passou no dimensionamento, pois as mesmas já ultrapassaram a sua capacidade de resistência.

Como foi verificado que para o diâmetro da primeira simulação numérica de 79,56 mm algumas barras de bambu localizada no banzo superior não resistiu, realizou-se algumas simulações no SAP2000 como forma de realizar uma adequação na estrutura. Dentre os parâmetros utilizados para a realização da simulação numérica, verificou-se que se pode alterar o diâmetro da seção transversal das barras de bambu.

Observa-se que a espécie de bambu *Guadua angustifolia* tem uma variação linear no seu diâmetro, com isso optou-se realizar uma nova simulação com o valor da maior variação de diâmetro disponibilizado na literatura que é 101,86 mm, e com isso modificando a sua seção transversal, na Figura 30 está representado o novo dimensionamento da treliça de bambu.

Figura 30: Dimensionamento da treliça em bambu utilizando o diâmetro de 101,86 mm.



Fonte: Autoria própria (2021).

Observa-se que ao aumentar a seção transversal das barras de bambu, ocorreu uma melhora em relação ao banzo superior da treliça, logo, as barras passaram a resistir aos esforços solicitantes, desta forma, nota-se que as barras deixaram de apresentar a cor vermelha e estão apresentando uma cor verde, e de acordo com a escala de cor fornecida pelo software SAP2000, as barras estão sendo solicitadas a exercer até 70% da sua capacidade de resistir aos esforços solicitantes.

No Quadro 01, tem-se um resumo das análises que foram realizadas na estrutura, tanto para o diâmetro de 79,56 mm como para o diâmetro de 101,86 mm.

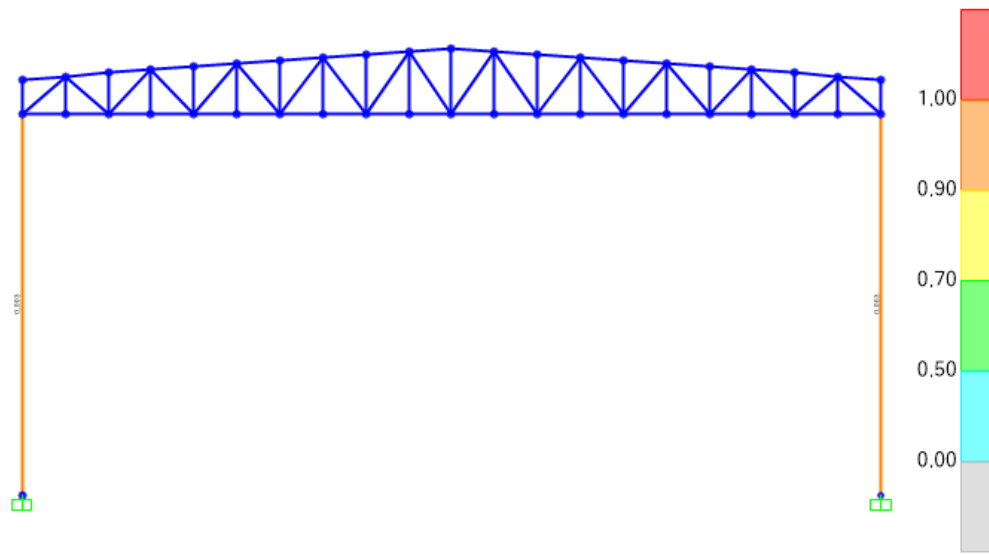
Quadro 01: Análise da treliça em bambu.

ANÁLISE DA TRELIÇA EM BAMBU			
ELU POSIÇÃO		ESFORÇO (KN) 1º ANÁLISE	ESFORÇO (KN) 2º ANÁLISE
BANZO SUPERIOR	cd=ih de=hg	-107,17	-135,51
BANZO INFERIOR	GH=ON HI=NM	91,42	119,35
DIAGONAIS	AM=Uo	-45,38	-56,66
MONTANTES	AV	-8,20	-8,25
ELS		DESLOCAMENTO (m)	DESLOCAMENTO (m)
	U1	0	0
	U2	0	0
	U3	-0,18	-0,19
DIMENSIONAMENTO DA TRELIÇA			
POSIÇÃO		1º ANÁLISE	2º ANÁLISE
BANZO SUPERIOR (mm)		79,56	101,86
BANZO INFERIOR		79,56	101,86
DIAGONAIS		79,56	101,86
MONTANTES		79,56	101,86
SITUAÇÃO		NÃO PASSA	PASSA

Fonte: Autoria própria (2021).

Após as verificações e adequações que foram realizadas na estrutura, realizou-se a verificação da capacidade de resistência dos pilares, logo, foi verificado que os pilares estão dentro de uma condição confortável de resistência, trabalhando em uma faixa de 90% da sua capacidade de suporte, como pode ser visto na Figura 31.

Figura 31: Verificação da capacidade de suporte dos pilares.



Fonte: Autoria própria (2021).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho abordou o estudo numérico e analítico sobre a treliça do Centro de Convivência da Universidade Federal Rural do Semi-Árido/ Campus Angicos, cuja o objetivo foi analisar a eficiência da substituição do material da treliça original (aço) por bambu e a verificação da distribuição de cargas. O uso do software SAP2000 permitiu que o estudo estrutural fosse realizado de forma mais rápida e eficiente.

- Através de revisão de literatura pode-se ser observado a relevância de se realizar esse tipo de análise em estrutura;
- Verificou-se que a substituição do material da treliça original (o aço) pelo bambu é viável, entretanto, deve-se verificar a sua seção transversal, e realizar o seu dimensionamento;
- Verificou-se que é viável o uso do bambu em treliças;

De forma geral, pode-se afirmar a eficiência do bambu como um material estrutural e que a análise numérica é um programa bastante aplicável na obtenção dos esforços normais.

Sugestões para futuros trabalhos:

- Realizar estudo sobre as ligações de bambu;
- Realizar ensaios em laboratórios de forma a completar a análise realizada numericamente.

REFERÊNCIAS

ALVES, Marina Nery da Fonsêca. **Modelagem numérica de um gazebo de bambu com vistas à sua análise estrutural**. 2018. 73 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, Pb, 2018.

BESSA CESARINO, Y. (2018). **Estudo Analítico e Numérico via MEF Da Instabilidade de Vigas Metálicas em Situação de Incêndio**. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.DM- 22A/18, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental de Brasília, DF, 412 p. Versão Bilingue.

CAVALCANTE, J. P. B. **Análise estática de treliça via modelagem numérica**. 2011. 50f. Monografia (graduação em ciência e tecnologia) – Universidade Federal Rural do Semiárido. Angicos-RN, 2011.

CRIADO, Tayla Castilho. **Análise de vigas treliçadas de aço para aplicação em pontes**. 2017. 111 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil –, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2017.

FARIAS, Francisco Euzilmar Torres de. **Aplicação da teoria de modelos reduzidos em estruturas – estudo de caso de treliça plana**. 2019. 44 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharias – Denge Curso de Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Angicos-Rn, 2019.

GHAVAMI, Khosrow; MARINHO, Albanise B. Ropriedades físicas Propriedades físicas e mecânicas do colmo inteiro e mecânicas do colmo inteiro do bambu da espécie do bambu da espécie Guadua angustifolia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 1, n. 1, p. 108-114,; 2 abr. 2004. Semanal.

Hibbeler, Russell Charles *Estática: mecânica para engenharia* / R. C. Hibbeler; tradução Daniel Vieira. -- 14. ed. -- São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2017.

LANA, Cinthia Aparecida Carneiro. **Desenvolvimento de treliças planas de bambus de pequeno diâmetro com bioconexões compósitas**. 2016. 122 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016. Cap. 6.

MARÇAL, Vitor Hugo Silva. **Uso do bambu na construção civil**. 2008. 56 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília Faculdade de Tecnologia, Brasília, 2008.

MORAIS, Wesley Wilker Corrêa. **Propriedades físico-mecânicas de chapas aglomeradas produzidas com bambu, pinus e eucalipto**. 2011. 117 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria- Rs, 2012.

MORÉ, Telmo Norberto Moreira. **ESTRUTURA TRELIÇADA EM BAMBU PARA UTILIZAÇÃO EM TELHADOS RESIDENCIAIS**. 2003. 87 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

OLIVEIRA, Leandro Albuquerque Ribeiro de. **Análise de pórticos de aço com ligações vigapilar e de base de pilar semirrígidas a partir do método dos componentes**. 2015. 202 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais Escola de Engenharia, Belo Horizonte, 2015. Cap. 7.

RAMOS, José Ronaldo Soares. **Apostila curso básico sap2000**. 2017. 33 f. (Apostila).

RIBEIRO, Bruna Dias. **Estudo das solicitações dos elementos estruturais de uma ponte estaiada tipo leque**. 2017. 88 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro Tecnológico de Joinville, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/181831/TCC%20-%20Bruna%20Ribeiro.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 04 set. 2021.

Ricardo, O.G.S. **Teoria das estruturas**. São Paulo, McGraw hill do Brasil / EDUSP, 1978.

SOARES, Sebastião Fróes Brandão de Sousa. **Estruturas em bambu**. 2013. 127 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, Porto-Portugal, 2013. Cap. 7. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/68733/2/26866.pdf>. Acesso em: 06 ago. 2021.

SORIANO, H. L. **Estática das estruturas**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2010.

SOUZA, R. M. **O método dos elementos finitos aplicado ao problema de condução de calor**. 2003. 39 f. Universidade Federal do Pará, Belém, 2003. (Apostila).

UEMURA, Carlos Masaki. **Análise teórica e numérica de um protótipo de treliça espacial**. 2016. 48 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Guaratinguetá, 2016. Cap. 5.